



TUGAS AKHIR - MO141326

ANALISA STABILITAS BATU PECAH PADA SEAWALL DENGAN
VARIASI TINGGI MUKA AIR

RORRY HAULANA HAKIKI

NRP. 4313100006

Dosen pembimbing :

Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D.

Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., MSc.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2017



FINAL PROJECT - MO141326

STABILITY ANALYSIS OF STONES AT SEAWALL WITH WATER
LEVEL VARIATION

RORRY HAULANA HAKIKI

NRP. 4313100006

Supervisors :

Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D.

Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., MSc.

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2017

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

ANALISA STABILITAS BATU PECAH PADA SEAWALL DENGAN VARIASI TINGGI MUKA AIR

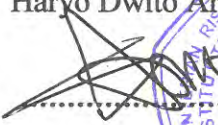




Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

RORRY HAULANA HAKIKI

NRP. 4313100006

Disetujui Oleh :

1. Haryo Dwito Armono, ST., M.Eng., Ph.D. (Pembimbing 1)

2. Dr.Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc. (Pembimbing 2)

3. Sujantoko, S.T., M.T. (Penguji 1)

4. Drs. Mahmud Mustain, M. Sc, Ph, D. (Penguji 2)

5. Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M. Eng. (Penguji 3)


Surabaya, Juli 2017

ANALISA STABILITAS BATU PECAH PADA SEAWALL DENGAN VARIASI TINGGI MUKA AIR

Nama Mahasiswa : Rorry Haulana Hakiki
NRP : 4313100006
Departemen : Teknik Kelautan, FTK-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Haryo Dwito Armono, ST., M.Eng., Ph.D.
2. Dr.Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc

ABSTRAK

Seawall merupakan bangunan pelindung pantai yang memiliki fungsi untuk melindungi bagian daratan dari terjangan gelombang yang ada. Dalam penelitian ini digunakan batu pecah sebagai pelindungnya dengan pertimbangan bahan yang mudah didapat dan hemat dari segi biaya sebagai armor pelindung *seawall*.

Penelitian ini dilakukan di Laboraturium Lingkungan dan Energi Laut, Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS Surabaya. Skala percobaan model fisik yang digunakan adalah 1:25 dan diuji dengan variasi tinggi muka air (d), tinggi gelombang (H) dan periode gelombang (T). Variasi tinggi muka air yang akan digunakan adalah 0.5 m, 0.45 m, 0.4 m.

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah *damage percent* ($D\%$), kecuraman gelombang (H/gT^2), dan kedalaman relatif (d/H). Dari hasil percobaan didapatkan armor batu pecah paling stabil pada kedalaman 0.4 m dimana tidak terjadi kerusakan ($D_o = 0\%$), sedangkan kedalaman 0.45 m sebesar $D_o = 1.08\%$ dan kedalaman 0.5 sebesar $D_o = 1.62\%$. Didapatkan perbandingan terbalik antara kedalaman relatif (d/H_s) dengan koefisien stabilitas (K_d) yang berarti semakin kecil nilai kedalaman relatif suatu perairan maka berat batu (W) yang dibutuhkan akan semakin kecil juga untuk tinggi gelombang yang sama.

Kata Kunci : batu pecah, model fisik, koefisien stabilitas.

STABILITY ANALYSIS OF STONES AT SEAWALL WITH WATER LEVEL VARIATION

Name of Student : Rorry Haulana Hakiki
REG : 4313100006
Department : Ocean Engineering, FTK-ITS
Supervisor : 1. Haryo Dwito Armono, ST., M.Eng., Ph.D.
2. Dr.Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc

ABSTRACT

Seawall is a coastal protection building that has function to protect the mainland such as road or building on the shores from the waves attack. In this study we use rubblemound as a protector with the consideration of materials that are easily obtained and cost-effective as a seawall protector armor

This research take place on the Enviromental and Ocean Energy Laboratory of Ocean Engineering Deparment, Faculty of Marine Technology, ITS Surabaya. The experimental scale of the physical model used is 1:25 and tested by variations of water level (d), wave height (H) and wave period (T). The variation of water level that will be used is 0.5 m, 0.45 m, 0.4 m.

The parameters used in this research are the damage percent (D%), wave steepness (H/gT^2), and depth relativity (d/H). From the experimental results, the most stable at 0.4 m depth where there is no damage ($D_o = 0\%$), while the depth of 0.45 m is 1.08% ($D_o = 1.08\%$) and the depth of 0.5 m is 1.62% ($D_o = 1.62\%$). There is an inverse ratio between depth relativity (d/H) and stability coefficient (K_d), which means that the smaller value of the water depth relativity, the rock weight (W) required will be smaller for the same value of wave height.

Keywords: rubblemound, physical model, stability coefficient.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Analisa Stabilitas Batu Pecah pada *Seawall* Dengan Variasi Tinggi Muka Air” dengan lancar.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Program Studi Sarjana (S-1) penulis di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Dalam pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini, penulis tidak memungkiri jika terdapat kekurangan yang tidak disengaja. Maka dari itu penulis mengharapkan saran dan masukannya untuk menyempurnakan penelitian selanjutnya. Semoga Tugas Akhir ini dapat berguna dan bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang teknik kelautan khususnya bidang struktur pantai.

Surabaya, 18 Juli 2017

Penulis

UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam pengerjaan dan penyusunan penelitian untuk Tugas Akhir ini ada berbagai pihak yang ikut membantu dan memberikan dukungan pada penulis baik secara langsung maupun tidak langsung. Maka dari itu penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Allah SWT yang memberikan rahmah dan karunianya sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan lancar dan baik.
2. Kedua orang tua penulis Bapak Syahri dan Ibu Niniek Nindriyani yang selalu memberikan motivasi dan doa tanpa henti selama proses pengerjaan Tugas akhir ini.
3. Bapak Haryo Dwito Armono, ST., M.Eng., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing 1 yang berkenan meluangkan waktu untuk membimbing, mengarahkan dan memberi masukan serta ilmu yang berguna dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr.Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah berkenan meluangkan waktunya untuk berdiskusi serta memberikan masukan untuk memperbaiki Tugas Akhir ini.
5. Bapak Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D., selaku kepala Laboraturium Lingkungan dan Energi Laut yang berkenan memberikan izin penggunaan laboraturium.
6. Bapak Arif Mochtar, selaku teknisi laboraturium yang berkenan meluangkan waktunya dalam membantu proses pengujian
7. Teman-teman seperjuangan Danny, Iyan, Vega, Ali, Awang, Rindy yang membantu dalam pengujian experimen maupun penyusunan Tugas Akhir.
8. Keluarga Besar Angkatan 2013 Teknik Kelautan FTK-ITS (VALTAMERI) atas kebersamaan, kekeluargaan dan pahit masinya kehidupan perkuliahan yang telah dilalui bersama. Terima kasih banyak

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| LEMBAR PENGESAHAN | iii |
| ABSTRAK | iv |
| KATA PENGANTAR | vi |
| UCAPAN TERIMA KASIH | vii |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL | xiii |
| DAFTAR NOTASI | xiv |
| LAMPIRAN | xvi |
| | |
| BAB I. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3. Tujuan | 2 |
| 1.4. Manfaat | 2 |
| 1.5. Batasan Masalah | 3 |
| 1.6. Sistematika Penulisan | 3 |
| | |
| BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI | 5 |
| 2.1. Tinjauan Pustaka | 5 |
| 2.2. Dasar Teori | 6 |
| 2.2.1. Seawall | 6 |
| 2.2.2. Rubblemound | 7 |
| 2.2.3. Teori Gelombang | 8 |

| | |
|---|--------|
| 2.2.3.1. Gelombang Regular | 9 |
| 2.2.3.2. Gelombang Acak | 10 |
| 2.2.4. Klasifikasi Teori Gelombang | 11 |
| 2.2.5. Gaya Gelombang Terhadap Struktur | 13 |
| 2.2.6. Pasang Surut | 14 |
| 2.2.7. Persamaan Hudson | 16 |
| 2.2.8. Hukum Permodelan Fisik | 17 |
| 2.2.8.1. Sebangun Geometrik | 18 |
| 2.2.8.2. Sebangun Kinematik | 20 |
| 2.2.8.3. Sebangun Dinamik | 21 |
| 2.2.9. Bilangan Froude | 22 |
| 2.2.10. Analisa Parameter | 22 |
| BAB III. METODOLOGI PENELITIAN | 25 |
| 3.1. Diagram <i>Fishbone</i> | 25 |
| 3.2. Diagram Alir Penelitian | 26 |
| 3.3 Penjelasam Diagram Alir | 27 |
| 3.3.1. Studi Literatur | 27 |
| 3.3.2. Persiapan Pengujian | 27 |
| 3.3.2.1. Pengecekan Peralatan Percobaan | 27 |
| 3.3.2.2. Pembuatan Model | 31 |
| 3.3.2.3. Penentuan Parameter Gelombang | 33 |
| 3.3.3. Kalibrasi Peralatan Uji | 34 |
| 3.3.4. Proses Pengujian | 35 |
| 3.3.5. Pengukuran dan Pengamatan | 36 |

| | |
|---|--------|
| 3.3.6. Analisa dan Pembahasan | 37 |
| BAB IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN | 39 |
| 4.1. Pendahuluan | 39 |
| 4.2. Analisa Data | 39 |
| 4.2.1. Kalibrasi Probe | 39 |
| 4.2.2. Pengolahan Data Hasil Eksperimen | 41 |
| 4.3. Pengamatan Pengujian Secara Visual | 44 |
| 4.3.1. Pengamatan Visual Kedalaman $d = 0.5$ m | 46 |
| 4.3.2. Pengamatan Visual Kedalaman $d = 0.45$ m | 48 |
| 4.3.3. Pengamatan Visual Kedalaman $d = 0.4$ m | 50 |
| 4.4. Pengaruh tinggi gelombang signifikan (H_s) terhadap <i>Damage Percent</i> (Do)..... | 51 |
| 4.5. Pengaruh ketajaman gelombang ($H_s 2\pi / g T_p^2$) terhadap koefisien stabilitas (K_d)..... | 54 |
| 4.6. Pengaruh kedalaman relatif (d/H_s) terhadap koefisien stabilitas (K_d) | 55 |
| BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN | 57 |
| 5.1. Kesimpulan | 57 |
| 5.2. Saran | 57 |
| DAFTAR PUSTAKA | 59 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 1.1. Contoh bangunan <i>Seawall</i> | 1 |
| Gambar 2.1. <i>Seawall</i> dengan armor batu pecah | 6 |
| Gambar 2.2. Karakteristik Gelombang Sinusoidal | 9 |
| Gambar 2.3. Definisi Gelombang Acak | 10 |
| Gambar 2.4. Profil gelombang Airy, Stokes dan Cnoidal | 12 |
| Gambar 2.5. Daerah penerapan teori gelombang fungsi H/d dan d/L | 13 |
| Gambar 2.6. Skema Gaya Hidrodinamis Gelombang | 14 |
| Gambar 2.7. Contoh sebangun geometrik | 20 |
| Gambar 2.8. Contoh sebangun kinematik | 21 |
| Gambar 3.1. Diagram ikan percobaan stabilitas batu pecah | 25 |
| Gamabr 3.2. Diagram alir penelitian | 26 |
| Gambar 3.3. Kolam gelombang pengujian | 28 |
| Gambar 3.4. Pembangkit gelombang | 29 |
| Gambar 3.5. Wave probe yang digunakan untuk pengujian | 30 |
| Gambar 3.6. Perangkat komputer | 30 |
| Gambar 3.7. Alat untuk kalibrasi probe | 31 |
| Gambar 3.8. Model <i>seawall</i> tampak depan | 32 |
| Gambar 3.9. Desain tampak samping <i>seawall</i> dalam kolam uji..... | 32 |
| Gambar 3.10. Penyekatan Seawall pada kolam uji | 35 |
| Gambar 3.11. Pembagian zona atu pecah | 36 |
| Gambar 3.12. Tipe-tipe kegagalan armor pelindung | 37 |
| Gambar 4.1. Hasil kalibrasi dengan menggunakan perangkat lunak AnaWare | 40 |
| Gambar 4.2. Tampilan excel macro refana untuk mengambil nilai tegangan dari time history (.TMH) | 42 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.3. Penempatan hasil output Refana dalam satu folder | 42 |
| Gambar 4.4. Tampilan AnaWare | 43 |
| Gambar 4.5. Foto sesudah dan sebelum salah satu variasi pengujian | 45 |
| Gambar 4.6. Ilustrasi tampak samping peletakan batu pecah $d = 0.5$ m | 46 |
| Gambar 4.7. Ilustrasi tampak samping peletakan batu pecah $d = 0.45$ m | 48 |
| Gambar 4.8. Ilustrasi tampak samping peletakan batu pecah $d = 0.4$ m | 50 |
| Gambar 4.9. Grafik hubungan antara <i>damage percent (Do)</i> dan tinggi gelombang signifikan (H_s) | 52 |
| Gambar 4.10. Grafik perbandingan terhadap penelitian Carver dkk, 1986 | 53 |
| Gambar 4.11. Grafik koefisien stabilitas (K_d) terhadap ketajaman gelombang $(H_s \cdot 2\pi / g \cdot T_p^2)$ | 54 |
| Gambar 4.12. Grafik koefisien stabilitas (K_d) terhadap kedalaman relatif (d/H_s) | 55 |
| Gambar 4.13. Grafik hubungan <i>Damage Armour (S)</i> terhadap kedalaman air (d) dari Esteban dkk, 2012 | 56 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1. Batasan gelombang air dangkal, transisi dan dalam | 11 |
| Tabel 2.2. Koefisien Stabilitas K_D untuk berbagai jenis butir | 17 |
| Tabel 3.1. Parameter skala model | 33 |
| Tabel 3.2. Variasi Percobaan | 33 |
| Tabel 4.1. Data dari probe 1 dan probe 2 | 40 |
| Tabel 4.2. Rekaman data probe 1 dan probe 2 | 41 |
| Tabel 4.3. Hasil nilai olahan AnaWare | 44 |
| Tabel 4.4. Hasil pengamatan visual respon model uji | 46 |
| Tabel 4.5. Jumlah batu pecah yang digunakan untuk variasi $d = 0.5$ m | 47 |
| Tabel 4.6. Pengamatan perpindahan batuan $H = 0.06$ m dan $T = 1.2$ s | 47 |
| Tabel 4.7. Pengamatan perpindahan batuan $H = 0.07$ m dan $T = 1.2$ s | 48 |
| Tabel 4.8. Jumlah batu pecah yang digunakan untuk variasi $d = 0.45$ m | 49 |
| Tabel 4.9. Pengamatan perpindahan batuan $H = 0.06$ m dan $T = 1.2$ s | 49 |
| Tabel 4.10. Pengamatan perpindahan batuan $H = 0.07$ m dan $T = 1.2$ s | 50 |
| Tabel 4.11. Jumlah batu pecah yang digunakan untuk variasi $d = 0.4$ m | 51 |
| Tabel 4.12. Perbandingan <i>damage percent</i> (Do) terhadap tinggi gelombang signifikan (H_s) | 52 |
| Tabel 4.13. Perbandingan <i>damage percent</i> (Do) terhadap tinggi gelombang signifikan (H_s) Carver dkk | 54 |

DAFTAR NOTASI

A = Amplitudo gelombang
 AP = Luas permukaan objek per satuan panjang
 C = Kecepatan rambat gelombang
 CD = Koefisien seret
 CI = Koefisien inersia
 CL = Koefisien angkat
 H = Tinggi gelombang
 Lo = Panjang gelombang
 T = Periode gelombang
 SWL = Still water level
 F = Freeboard
 FB = Gaya apung
 FD = Gaya seret
 Ff = Gaya gesek
 FG = Gaya gravitasi
 FL = Gaya angkat
 Fr = Bilangan Froud
 \bar{H} = Tinggi gelombang rerata
 H_i = Tinggi gelombang datang
 H_s = Tinggi gelombang signifikan
 kc = Bilangan carpenter
 K_D = Koefisien stabilitas
 L = Panjang spesifik
 L_m = Panjang model
 L_p = Panjang prototype
 M = Massa
 N = Jumlah gelombang
 N_s = Bilangan stabilitas
 nL = Skala panjang
 nh = Skala tinggi
 Re = Bilangan Reynold

S = Spesific gravity
 \bar{T} = Periode gelombang rerata
 T_c = Periode semu
 T_r = Periode lintas nol semu
 T_p = Periode gelombang puncak
 V = Volume armor
 V_m = Volume model
 W_D = Berat objek
 W_r = Berat model
 X = Variabel predictor
 Y = Variabel respon
 a = Percepatan
 d = Kedalaman air
 k = Angka gelombang
 $m.$ = Model
 m = Kemiringan struktur
 g = Percepatan gravitasi
 p = Prototipe
 γ = Elevasi gelombang
 α = Sudut kemiringan struktur
 γ_r = Berat jenis model
 γ_a = Berat jenis air
 μ = Koefisien gesek statis
 θ = Sudut kemiringan struktur
 Δ = berat jenis relatif $((\gamma_r - \gamma_a) - 1)$

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

LAMPIRAN 2

LAMPIRAN 3

LAMPIRAN 4

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia adalah negara kepulauan terbesar di dunia. Mengacu pada survei toponomi Tim Nasional Pembakuan Nama Rupabumi tahun 2007-2010, jumlah pulau yang ada di Indonesia adalah sebanyak 13.466 pulau. Hal ini tentu berbanding lurus dengan panjang garis pantai yang ada di Indonesia. Berdasarkan data terbaru dari Badan Informasi Geospasial (BIG) menyebutkan, total panjang garis pantai Indonesia mencapai 99.093 km. Dengan panjangnya garis pantai di Indonesia maka besar pula ancaman terjadinya erosi pada pesisir pantai. Salah satu bangunan pelindung pantai untuk melindungi pesisir pantai dari erosi adalah *Seawall*.

Seawalls atau dinding laut adalah bangunan pelindung pantai yang memiliki fungsi untuk mencegah *overtopping* dan meluapnya daerah laut atau sungai sehingga merusak daratan atau bangunan dibelakangnya. *Seawalls* dibangun secara paralel sepanjang garis pantai untuk memperkuat profil pesisir pantai. Seringkali *seawalls* dibangun untuk melindungi jalan, bangunan yang tepat berada pada pinggir laut.



Gambar 1.1 Contoh bangunan *Seawall*. (piningforthewest.co.uk)

Struktur armor pelindung yang digunakan pada percobaan eksperimen kali ini adalah tipe *rubblemound* atau batu pecah. Kengunggulan dari *rubblemound* sendiri adalah sebagai penahan gelombang yang mudah didapat dan murah. *Seawall* dengan armor batu pecah ini harus memiliki kestabilan untuk bisa menahan gelombang. Besarnya gelombang yang datang dapat mempengaruhi stabilitas armor batu pecah tersebut. Dari penelitian sebelumnya stabilitas batu pecah dipengaruhi oleh slope lereng, berat, susunan batu pecah serta tinggi dan periode gelombang.

Pada penelitian ini akan dimodelkan *seawall* dengan armor batu pecah secara fisik dengan variasi tinggi muka air, tinggi gelombang dan periode gelombang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada uraian latar belakang masalah, maka beberapa pokok permasalahan yang dapat dirumuskan pada tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh tinggi gelombang (H) dan periode gelombang (T) terhadap stabilitas batu pecah sebagai armor pelindung *Seawall* ?
2. Bagaimana pengaruh variasi muka air terhadap stabilitas batu pecah sebagai armor pelindung *Seawall* ?

1.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh tinggi gelombang (H) dan periode gelombang (T) terhadap stabilitas batu pecah sebagai armor pelindung *Seawall*
2. Mengetahui pengaruh variasi muka air terhadap stabilitas batu pecah sebagai armor pelindung *Seawall*

1.4 Manfaat

Dari tugas akhir ini diharapkan dapat diketahui nilai stabilitas batu pecah sebagai armor pelindung pada bangunan *seawall*. Hasil yang didapat dapat memperkaya grafik hubungan antara angka stabilitas dengan variasi yang terkait agar dapat diterapkan pada ilmu teknik kelautan secara luas. Dengan diketahuinya

pengaruh variasi tinggi muka air pada percobaan ini diharapkan dapat menjadi pertimbangan untuk memperhatikan keadaan dalam pasang tertinggi maupun surut terendah.

1.5 Batasan Masalah.

Untuk mengurangi permasalahan selama pengerjaan tugas akhir ini, maka diberikan beberapa batasan masalah antara lain sebagai berikut :

1. Dasar perairan yang digunakan kedap.
2. Variasi slope lereng armor batu pecah, periode gelombang, tinggi gelombang dan kedalaman sudah ditentukan.
3. Arah sudut gelombang tegak lurus dengan model.
4. Gelombang yang dibangkitkan adalah gelombang irreguler.
5. Beban arus dan beban angin diabaikan
6. Air yang digunakan merupakan air tawar
7. Model fisik menggunakan bahan dan skala yang telah ditentukan

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

Bab I. Pendahuluan

Bab ini menjelaskan mengapa perlu dilakukan penelitian ini, dibahas dalam latar belakang, perumusan masalah, tujuan serta manfaat dari penelitian ini. Batasan masalah dalam bab ini bertujuan agar dalam pembahasan masalahnya tidak terlalu luas. Untuk memudahkan pemahaman tentang laporan maka akan dijelaskan pula sistematika penulisan laporan.

Bab II. Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Bab ini menjelaskan dasar-dasar teori dan tinjauan pustaka yang digunakan sebagai acuan dalam menyelesaikan perumusan masalah yang ada.

Bab III. Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan tentang langkah-langkah secara terperinci dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Bab IV. Analisa dan Pembahasan

Bab ini menjelaskan tentang semua hasil analisa dan penelitian. Bab ini juga membahas tentang hasil pengolahan data yang nantinya akan menjawab tujuan dari dilakukannya penelitian ini.

Bab V. Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi tentang semua jawaban dari permasalahan yang ada serta saran-saran penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Seawalls atau dinding laut adalah bangunan pelindung pantai yang memiliki fungsi untuk mencegah *overtopping* dan meluapnya daerah laut atau sungai sehingga merusak daratan atau bangunan dibelakangnya. *Seawalls* dibangun secara paralel sepanjang garis pantai untuk memperkuat profil pesisir pantai. Seringkali *seawalls* dibangun untuk melindungi jalan, bangunan yang tepat berada pada pinggir laut.

Umumnya *seawalls* lebih *massive* karena tahan terhadap tenaga gelombang penuh. Namun terdapat kelebihan dan kekurangan dari bangunan pelindung pantai *seawalls* ini. Dari sisi keuntungannya yaitu pemilihan bentuk dapat ditentukan sesuai fungsi bangunan serta pelaksanaan pekerjaan yang mudah karena dilakukan langsung didarat. Namun dari sisi kekurangannya yaitu dapat mengakibatkan hilangnya pantai serta kemungkinan erosi pada kaki bangunan.

Dalam Tugas Akhir ini akan dilakukan uji fisik untuk mengetahui stabilitas dari model *seawalls*. Model fisik dibuat dan dijalankan pada skala yang diperkecil dari keadaan sebenarnya (prototipe). Dalrymple (1985) memberikan dua keuntungan utama yang didapat dengan menggunakan model fisik untuk mereplika fenomena yang terjadi di daerah pantai :

1. Model fisik mengintegrasikan semua persamaan-peramaan pembangkit suatu proses tanpa adanya penyerdehanaan asumsi, seperti yang dilakukan dalam model numerik.
2. Dengan diperkecilnya ukuran suatu prototipe menjadi suatu model, maka mempermudah pengumpulan data, sehingga efeknya juga mengurangi, biaya, dimana pengumpulan data di lapangan lebih mahal dan lebih sulit untuk diperoleh.

Beberapa penelitian pernah dilakukan baik yang membahas tentang seawall maupun stabilitas armor batu pecah. Syarifuddin (2013) meneliti studi kasus tentang penyebab kerusakan *seawall* pada desa tejakula, Bali dan memberikan desain baru

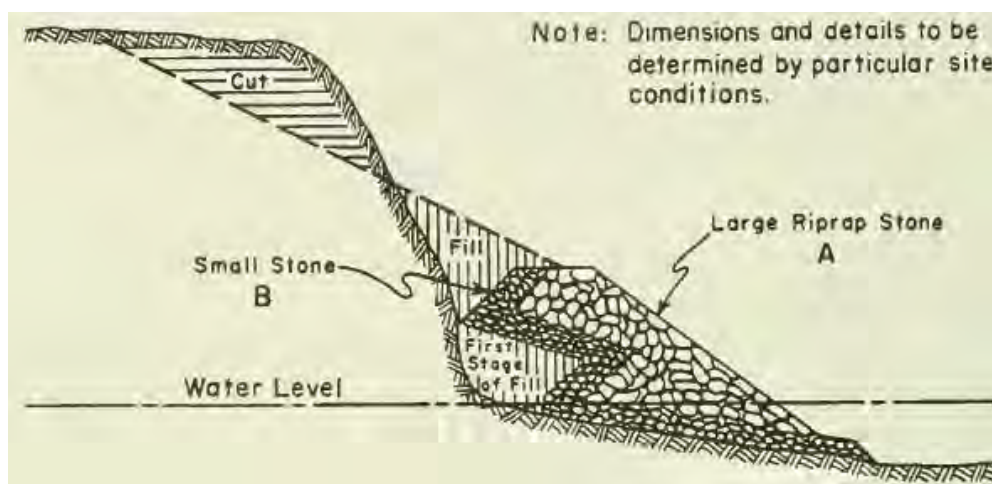
untuk menanggulangi kerusakan yang ada. Kramer (2006) menyatakan stabilitas sebuah struktur dipengaruhi oleh keadaan *seabed* sekitar, bentuk lapisan luar struktur, karakteristik material, dan parameter hidrodinamik. Maka dari itu direkomendasikan untuk stabilitas lapisan armor menggunakan *slope* dengan kemiringan 1 : 2. Van Gent (2012) melakukan percobaan eksperimen tentang stabilitas batu pecah pada struktur *braekwater* dengan berm. Percobaan dilakukan di *flume wave tank* dengan ukuran lebar, tinggi dan panjang adalah 1 m, 1.2 m, dan 110 m. Menghasilkan kesimpulan peningkatan stabilitas dipengaruhi oleh level dari berm, lebar berm, kecuraman gelombang, dan kemiringan slope

2.2 Dasar Teori

Dasar teori merupakan teori yang secara langsung digunakan atau berhubungan pada pembahasan atau perhitungan tugas akhir ini

2.2.1 Seawall

Seawalls atau dinding laut adalah bangunan pelindung pantai yang memiliki fungsi untuk mencegah *overtopping* dan meluapnya daerah laut atau sungai sehingga merusak daratan atau bangunan dibelakangnya. *Seawalls* dibangun secara paralel sepanjang garis pantai untuk memperkuat profil pesisir pantai. Seringkali *seawalls* dibangun untuk melindungi jalan, bangunan yan tepat berada pada pinggir laut.



Gambar 2.1 Seawall dengan armor batu pecah. (SPM Vol. 2, 1984)

Umumnya *seawalls* lebih *massive* karena tahan terhadap tenaga gelombang penuh. Namun terdapat kelebihan dan kekurangan dari bangunan pelindung pantai *seawalls* ini. Dari sisi keuntungannya yaitu pemilihan bentuk dapat ditentukan sesuai fungsi bangunan serta pelaksanaan pekerjaan yang mudah karena dilakukan langsung didarat. Namun dari sisi kekurangannya yaitu dapat mengakibatkan hilangnya pantai serta kemungkinan erosi pada kaki bangunan.

Pemakaian sisi tegak dapat mengakibatkan erosi yang cukup besar apabila kaki atau dasar bangunan berada di air dangkal. Gelombang yang menghantam dinding akan membelokkan energi ke atas dan ke bawah. Komponen kebawah menimbulkan arus yang dapat mengerosi material dasar depan bangunan. Kedalaman erosi yang terjadi tergantung pada bentuk sisi bangunan. Untuk melindungi erosi tersebut maka diperlukan pelindung kaki bangunan dengan menempatkan batu pelindung. Selain itu pada bangunan sisi tegak harus dibuat turap yang dipancang di bawah sisi depan bangunan yang berfungsi untuk mencegah gerusan yang terjadi di bawah permukaan. Kedalaman erosi maksimum terhadap tanah dasar asli adalah sama dengan tinggi gelombang maksimum yang mungkin terjadi di depan bangunan (CERC, 1984).

2.2.2 Rubblemound

Sebagai lapisan pelindung pada struktur *seawall* pada umumnya tersusun atas tumpukan batu atau yang biasa disebut *rubblemound*. Bahan yang digunakan untuk bangunan pelindung pantai harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Bahan lapis lindung harus tahan terhadap lingkungan dengan kriteria tidak mudah mengalami pelapukan, tidak rusak ketika terkena bahan kimia, tahan dari gaya dinamis akibat gelombang pecah.
2. Batu pelindung alami maupun buatan memiliki berat jenis yang cukup besar, berkisar lebih dari 2.200 kg/m^3 . Semakin besar berat jenis bahan yang digunakan, maka makin kecil ukuran dari batu yang dibutuhkan. Tujuannya agar memudahkan pada saat pelaksanaan pembangunan struktur.
3. Bahan lapisan pelindung harus cukup besar sehingga dapat menahan gaya-gaya yang disebabkan oleh gelombang.
4. Bahan yang dipilih membutuhkan biaya semurah mungkin.

2.2.3 Teori Gelombang

Teori gelombang merupakan sebuah formulasi pendekatan dari gelombang pada kondisi yang sebenarnya, karena pada dasarnya gelombang di alam memiliki bentuk sangat kompleks dan sulit digambarkan secara matematis karena ketidaklinieran, tiga dimensi dan mempunyai bentuk yang random. Teori gelombang mendeskripsikan fenomena alam dengan yang memenuhi suatu asumsi tertentu. Teori gelombang mungkin tidak valid / salah dalam mendeskripsikan fenomena lain yang tidak memenuhi asumsi tersebut (CERC,2007). Asumsi dasar dari teori gelombang adalah sebagai berikut :

- Fluida dianggap homogen dan ideal (tidak bisa ditekan / *infiscid* dan *incompressible*)
- Tekanan permukaan diabaikan
- Gaya coriolis karena rotasi bumi diabaikan
- Tekanan pada permukaan bebas dianggap konstan dan *uniform*
- Gerak partikel berdiri sendiri, tidak saling mengganggu dan bertubrukan selama bergerak.
- Dasar laut dianggap datar, tetap *impermeable*, sehingga kecepatan vertikal di dasar adalah nol
- Amplitudo gelombang relatif kecil disbanding panjang gelombang.

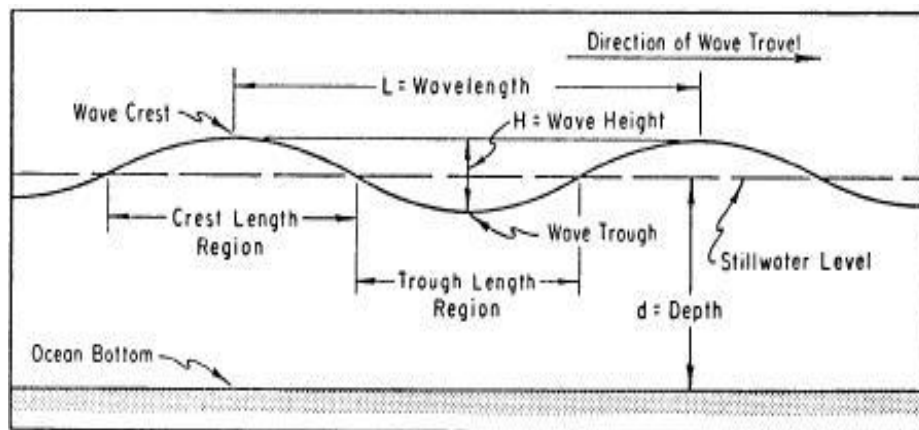
Parameter penting untuk menjelaskan teori gelombang adalah panjang gelombang, tinggi gelombang dan kedalaman air dimana gelombang tersebut menjalar. Parameter-parameter lainnya seperti pengaruh kecepatan dapat ditentukan dari ketiga parameter pokok diatas. Adapun pengertian dari beberapa parameter tersebut, yaitu :

- Tinggi gelombang / *wave height (H)*, merupakan jarak vertikal dari lembah gelombang (*trough*) ke puncak gelombang (*crest*).
- Panjang gelombang / *wave length (Lo)*, merupakan jarak horisontal dari puncak gelombang ke puncak berikutnya, bisa juga dikatakan sebagai jarak antara dua lembah gelombang.

- Periode gelombang / *wave period* (T), merupakan waktu yang ditempuh untuk mencapai satu panjang gelombang.
- Amplitudo gelombang / *wave amplitude* (A), diukur dari permukaan air tenang (*still water level* / *SWL*) ke puncak gelombang atau dari *SWL* ke lembah gelombang. Didefinisikan $H/2$
- Kecepatan rambat gelombang / *wave celerity* (C), merupakan perbandingan antara panjang gelombang dan periode gelombang (L/T).
- Angka gelombang / *wave number* (k), didefinisikan sebagai $2\pi / L$

2.2.3.1 Gelombang Regular

Gerakan gelombang secara sederhana dapat direpresentasikan sebagai gelombang yang sinusoidal, *long-crested*, dan *progressive*. Sinusoidal memiliki arti bahwa gelombang memiliki bentuk seperti kurva sinus yang berulang-ulang. *Long-crested* memiliki arti bahwa gelombang merupakan suatu rangkaian puncak gelombang yang panjang dan paralel, memiliki ketinggian dan jarak yang sama di antara dua puncak gelombang (*equidistant*). *Progressive* berarti bahwa gelombang bergerak dengan kecepatan yang konstan dan tanpa perubahan bentuk. Bentuk gelombang sinusoidal sederhana ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.2 Karakteristik Gelombang Sinusoidal. (SPM Vol. 1, 1984)

Profil gelombang memiliki bentuk yang sinusoidal, maka persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut :

$$(x, t) = a \sin(kx - \omega t)$$

Untuk gelombang reguler, tinggi gelombang dalam pencatatannya dapat didekati dengan nilai reratanya sebagai berikut :

$$\bar{H} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i$$

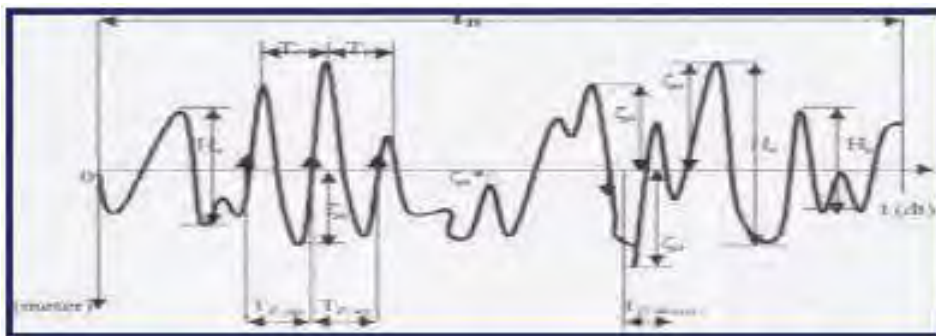
$$\bar{T} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i$$

Dengan N adalah jumlah gelombang yang terjadi.

2.2.3.2 Gelombang Acak

Nyatanya gelombang pada laut lepas adalah gelombang yang acak dengan tinggi dan periode gelombang yang berbeda beda. Menurut Bhattacharyya (1972), gelombang irregular memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

- Permukaan gelombang merupakan permukaan yang tidak beraturan
- Permukaan gelombang yang tidak beraturan selalu berubah dari waktu ke waktu dan bervariasi dari tempat ke tempat, tergantung oleh kecepatan angin.
- Dari interval ke interval, pola atau bentuk gelombang irregular tidak pernah berulang, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3. berikut ini:



Gambar 2.3 Definisi Gelombang Acak. (Bhattacharyya, 1972)

Dimana :

γ = elevasi gelombang

γ_a = amplitudo gelombang semu (*apparent wave amplitude*)

H = tinggi gelombang semu (*apparent wave height*)

T_r = periode lintas nol semu (*apparent zero crossing period*)

T_c = periode semu (*apparent period*)

Terdapat dua cara pengukuran gelombang acak yaitu *zero up crossing method* dan *zero down crossing method*. *Zero up crossing method* dilakukan dengan meninjau satu gelombang dimulai dari titik potong elevasi terhadap garis datum, kemudian naik menuju puncak gelombang diikuti dengan elevasi menurun sampai ke lembah gelombang dan kemudian naik lagi sampai ke titik potong datum. Sedangkan *zero down crossing method* adalah sebaliknya. Dalam pencatatan gelombang *irregular* dengan luaran berupa tinggi gelombang signifikan (H_s) atau 1/3 dari jumlah gelombang yang tercatat.

2.2.4 Klasifikasi Teori Gelombang

Gelombang di laut dapat dibedakan menjadi beberapa macam yang tergantung pada gaya pembangkitnya. Gelombang angin adalah gelombang yang dibangkitkan oleh tekanan angin, gelombang pasang-surut yaitu gelombang yang ditimbulkan oleh gaya tarik menarik benda-benda angkasa terutama bulan dan matahari. Gelombang tsunami timbul akibat gempa bumi, letusan gunung berapi atau longsor dengan volume tanah yang besar di pantai. Gelombang lainnya adalah gelombang yang dibangkitkan oleh gerakan kapal dan lain-lain. Gelombang diklasifikasikan menurut kedalaman airnya kedalam 3 kategori yaitu gelombang air dangkal, air transisi dan air dalam (Triatmodjo, 2011). Batasan ketiga kategori tersebut didasarkan pada ratio antara kedalaman dan panjang gelombang (d/L). Batasan ketiga kategori tersebut selanjutnya ditunjukkan pada Tabel 1.

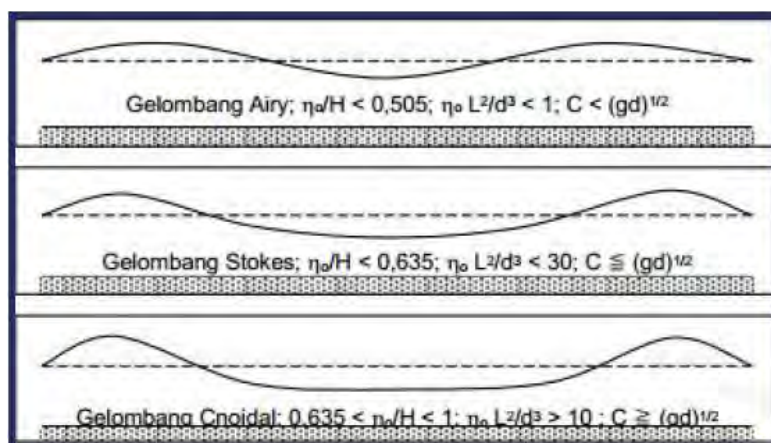
Tabel 2.1 Batasan gelombang air dangkal, transisi dan dalam. (Triatmojo, 2011)

| Kategori gelombang | d/L | $2\pi d/L$ | $\tanh 2\pi d/L$ |
|--------------------|--------------|--------------|--------------------|
| Air dalam | $> 0,5$ | $> \pi$ | ≈ 1 |
| Air transisi | $0,05 - 0,5$ | $0,25 - \pi$ | $\tanh 2\pi d/L$ |
| Air dangkal | $< 0,05$ | $< 0,25$ | $\approx 2\pi d/L$ |

Sedangkan melalui rasio antara tinggi gelombang dengan panjangnya atau

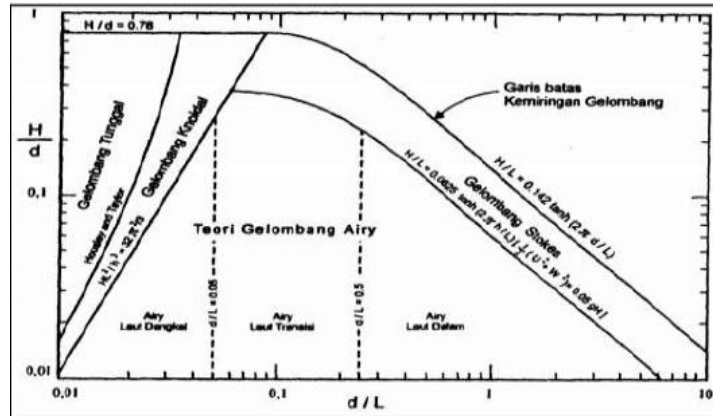
kedalaman airnya, teori gelombang dikembangkan ke dalam 2 macam, yaitu teori gelombang amplitudo kecil dan teori gelombang amplitudo berhingga. Teori gelombang amplitudo kecil yang dikembangkan oleh Airy, berdasarkan pada anggapan bahwa tinggi gelombang sangat kecil terhadap panjangnya atau kedalaman airnya, sedangkan gelombang amplitudo berhingga memperhitungkan besarnya tinggi gelombang terhadap panjang dan kedalaman airnya. Kondisi batas pada permukaan yang diperoleh dari persamaan Bernoulli dengan suku *nonlinier* ($u^2 + v^2$) yang diabaikan / dilinierkan pada teori gelombang amplitudo kecil, tidak lagi bisa diabaikan dalam teori gelombang amplitudo 15 berhingga. Dengan demikian teori gelombang amplitudo berhingga disebut juga teori gelombang *nonlinier*.

Dikenal beberapa teori gelombang *nonlinier* yaitu teori gelombang *Stokes*, *Cnoidal* dan *Solitary*. Perbedaan bentuk/profil dari gelombanggelombang Airy, Stokes dan Cnoidal dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Profil gelombang Airy, Stokes dan Cnoidal (Wilson, 1963)

Teori gelombang Airy diturunkan berdasarkan anggapan bahwa perbandingan antara tinggi gelombang dengan panjangnya atau kedalamannya sangat kecil, sedangkan teori gelombang amplitudo berhingga memperhitungkan besarnya rasio antara tinggi gelombang terhadap panjang dan kedalaman airnya.



Gambar 2.5 Daerah penerapan teori gelombang fungsi H/d dan d/L (Triatmodjo, 1999)

Untuk mendapat cepat rambat gelombang (C) dan panjang gelombang (L) dapat menggunakan bersama berikut :

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} = \frac{gT}{2\pi} \tanh kd$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh kd$$

Dimana k adalah angka gelombang dengan persamaan :

$$k = \frac{2\pi}{L}$$

2.2.5 Gaya Gelombang Terhadap Struktur

Seawall dengan armor pelindung batu pecah merupakan tumpukan batu yang dipasang di dalam laut yang diharapkan mampu menahan gaya gelombang. Oleh sebab itu batu tersebut dibuat seberat mungkin namun ekonomis dan tidak perpindahan apabila mengalami terjangan terjangan gelombang sampai dengan tinggi tertentu. Gaya hidrodinamis gelombang pada struktur cenderung mengangkat dan memindahkan batuan, seperti pada gambar 2.6 Oleh (Burchart, 1994), gaya-gaya tersebut dinyatakan sebagai berikut :

1) Gaya Angkat

$$F_L = C_L \cdot \rho w \cdot A \cdot \bar{V}|V|$$

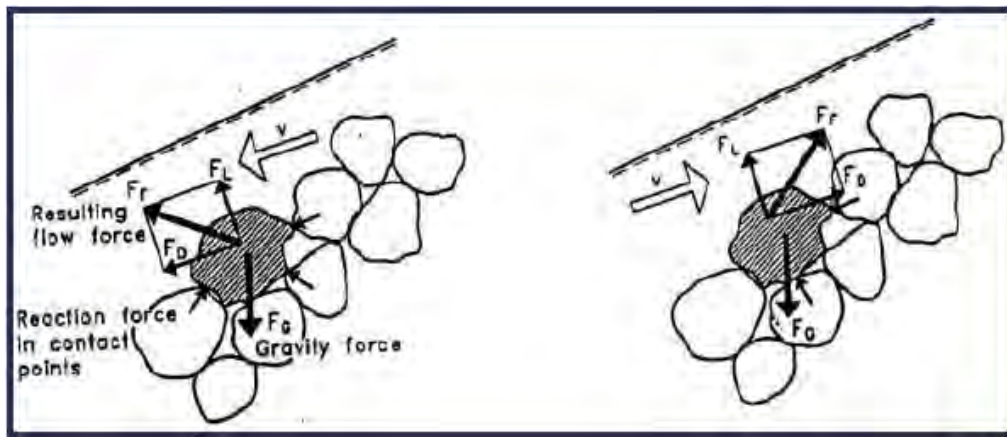
2) Gaya Seret

$$F_D = C_D \cdot \rho w \cdot A \cdot \bar{V}|V|$$

3) Gaya Inersia

$$F_I = C_I \cdot \rho_w \cdot A \cdot V \frac{dv}{dt}$$

dimana, ρ_w = rapat masa air, A = luas penampang yang tegak lurus arah kecepatan v . V = volume batuan. C_D , C_L , C_I = koefisien empiris gaya drag, lift dan inersia, nilainya dipengaruhi oleh bentuk batuan, Reynolds Number, Re , dan Keulegan Carpenter number, KC . Sedangkan gaya penahan merupakan gaya gravitasi batuan, F_G . Gaya ini bekerja pada titik kontak antar batuan, sehingga dipengaruhi oleh posisi titik kontak dan arah gaya kontak antar batuan, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Skema Gaya Hidrodinamis Gelombang (Burchart, 1994)

2.2.6 Pasang surut

Pasang surut adalah keadaan tidak tetap atau pergerakan naik turunnya muka air laut secara berkala yang disebabkan gaya tarik mendarik benda-benda yang berada di langit, utamanya matahari dan bulan terhadap massa air laut bumi. Pengetahuan tentang pasang surut sangat penting dalam merencanakan suatu bangunan pantai. Elevasi muka air tertinggi atau pada kondisi pasang dan terendah atau saat surut sangat penting dalam perencanaan bangunan-bangunan tersebut (Triatmodjo, 1999). Elevasi puncak bangunan ditentukan oleh elevasi muka air pasang, sedangkan kedalaman dari pelabuhan misalnya ditentukan muka air ketika surut. Menurut Christina (2009) tipe-tipe pasang surut terdiri dari:

1. Pasang surut harian ganda

Dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut dengan tinggi hampir sama dan pasang surut terjadi secara beruntun secara teratur. Periode pasang surut sekitar 12 jam 24 menit.

2. Pasang surut harian tunggal

Dalam satu hari terjadi pasang naik dan pasang turun masing-masing sebanyak satu kali. Periode pasang surut sekitar 24 jam 50 menit.

3. Pasang surut campuran condong ke harian ganda

Dalam satu hari terjadi masing-masing dua kali pasang naik dan surut, tetapi tinggi dan periode pasang surut berbeda.

4. Pasang surut campuran condong ke harian tunggal

Dalam satu hari terjadi masing-masing dua kali pasang naik dan surut, tetapi tinggi dan periode pasang surut berbeda.

Penentuan tinggi dan rendahnya pasang surut ditentukan dengan rumus-rumus sebagai berikut:

$$MSL = Z_0 + 1,1 (M_2 + S_2)$$

$$MHWL = Z_0 + (M_2 + S_2)$$

$$HHWL = Z_0 + (M_2 + S_2) + (O_1 + K_1)$$

$$MLWL = Z_0 - (M_2 + S_2)$$

$$LLWL = Z_0 - (M_2 + S_2) - (O_1 + K_1)$$

$$HAT = Z_0 + (M_2 + S_2 + N_2 + P_1 + O_1 + K_1)$$

$$LAT = Z_0 - (M_2 + S_2 + N_2 + P_1 + O_1 + K_1)$$

dengan :

MSL : Muka air laut rerata, yaitu muka air rerata antara muka air tinggi rerata dan muka air rendah rerata

MHWL : Muka air tinggi rerata, yaitu rerata dari muka air tinggi selama periode 19 tahun

HHWL : Muka air tinggi tertinggi, adalah air tertinggi pada pasang surut purnama

MLWL : Muka air rendah rerata, adalah rerata dari muka air rendah selama periode 19 tahun

LLWL : Air rendah terendah, yaitu air terendah pada saat pasang surut purnama

HAT : Tinggi pasang surut

LAT : Rendah pasang surut

O1 : Unsur pasut tunggal utama yang disebabkan gaya tarik bulan

K1 : Unsur pasut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik matahari

M2 : Unsur pasut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan

S2 : Unsur pasut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik matahari

2.2.7 Persamaan Hudson

Model perumusan stabilitas pemecah gelombang tipe *armoured rubble mound* telah dikembangkan oleh (Hudson, 1959). Sesuai dengan kriteria pengujian yaitu tidak terjadi *overtopping (no-overtopping)*, hubungan antara gaya gelombang dan berat batuan sebagai berikut :

$$K_D = \frac{\gamma_r H_s^3}{W \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_a} - 1 \right)^3 \cot \theta}$$

Dengan,

W = berat struktur (kg)

γ_r = berat jenis model (kg/m³)

γ_a = berat jenis air (kg/m³)

Hs = tinggi gelombang signifikan (m)

Θ = sudut kemiringan struktur

K_D = koefisien stabilitas

Tabel 2.2 Koefisien Stabilitas K_D untuk berbagai jenis butir. (Triatmojo, Teknik Pantai)

| Lapis Lindung | n | Penempatan | Lengan bangunan | | Ujung (kepala) bangunan | | Kemiringan |
|---|----|-------------------|-----------------|------------------|-------------------------|------------------|------------|
| | | | K_D | | K_D | | |
| | | | Gel. Pecah | Gel. Tidak pecah | Gel. pecah | Gel. Tidak pecah | Cot θ |
| Batu Pecah | | | | | | | |
| Bulat halus | 2 | Acak | 1,2 | 2,4 | 1,1 | 1,9 | 1,5-3,0 |
| Bulat halus | >3 | Acak | 1,8 | 3,2 | 1,4 | 2,3 | \times^2 |
| Bersudut kasar | 1 | Acak | \times^1 | 2,9 | \times^1 | 2,3 | \times^2 |
| Bersudut kasar | 2 | Acak | 2,0 | 4,0 | 1,9 | 3,2 | 1,5 |
| | | | | | 1,6 | 2,8 | 2,0 |
| | | | | | 1,3 | 2,3 | 3,0 |
| Bersudut kasar | >3 | Acak | 2,2 | 4,5 | 2,1 | 4,2 | \times^2 |
| Bersudut kasar | 2 | Khusus \times^3 | 5,8 | 7,0 | 5,3 | 6,4 | \times^2 |
| Paralelepipedum | 2 | Khusus | 7,0-20,0 | 8,5-24,0 | - | - | |
| Tetrapod dan | 2 | | | | 5,0 | 6,0 | 1,5 |
| Quadripod | | Acak | 7,0 | 8,0 | 4,5 | 5,5 | 2,0 |
| | | | | | 3,5 | 4,0 | 3,0 |
| Tribar | 2 | Acak | 9,0 | 10,0 | 8,3 | 9,0 | 1,5 |
| | | | | | 7,8 | 8,5 | 2,0 |
| | | | | | 6,0 | 6,5 | 3,0 |
| Dolos | 2 | Acak | 15,8 | 31,8 | 8,0 | 16,0 | 2,0 |
| | | | | | 7,0 | 14,0 | 3,0 |
| Kubus dimodifikasi | 2 | Acak | 6,5 | 7,5 | - | 5,0 | \times^2 |
| Hexapod | 2 | Acak | 8,0 | 9,5 | 5,0 | 7,0 | \times^2 |
| Tribar | 1 | seragam | 12,0 | 15,0 | 7,5 | 9,5 | \times^2 |
| Batu Pecah (K_{RB}) (graded angular) | | Acak | 2,2 | 2,5 | - | - | |

2.2.8 Hukum Permodelan Fisik

Pemodelan fisik dapat dikatakan sebagai percobaan yang dilakukan dengan membuat bentuk model yang sama dengan prototipenya atau menggunakan model yang lebih kecil dengan kesebangunan atau similarits yang cukup memadai.. Pemodelan fisik dilakukan apabila fenomena dari permasalahan yang ada pada prototipe sulit untuk diperoleh karena berbagai keterbatasan. Studi lapangan dapat menyediakan data yang akurat, tetapi biasanya membutuhkan biaya yang tinggi dan memuat variable alam yang dapat menyebabkan kesulitan dalam interpretasi data. Efek-efek fisik antar elemen fluida merupakan hal yang sangat berpengaruh untuk suatu penelitian mengenai karakter fluida. Dengan model fisik, hal tersebut

dapat divisualisasikan dan dapat dijamin keakuratannya. Hasil visualisasi tersebut mungkin merupakan hal yang tidak bisa dihasilkan secara teoritis atau dengan menggunakan perhitungan komputer (Hughes, 1993). Beberapa kekurangan pemodelan fisik :

1. Adanya efek skala; hal ini terjadi karena model dibuat lebih kecil dari prototipenya. Semua variable yang relevan tidak mungkin dimodelkan dalam hubungan yang benar satu sama lain, dengan kata lain efek skala menyederhanakan masalah melalui asumsi pada pemodelan numerik.
2. Efek Laboratorium; hal ini dapat mempengaruhi proses simulasi secara keseluruhan bila tidak dilakukan pendekatan yang sesuai dengan prototipenya. Efek laboratorium biasanya muncul karena ketidakmampuan untuk menghasilkan kondisi pembebanan yang realistic karena adanya pengaruh keterbatasan yang dimiliki model terhadap proses yang disimulasikan.
3. Fungsi gaya dan kondisi batas yang bekerja di alam tidak disertakan dalam pemodelan, sebagai contoh adalah gaya geser angin pada permukaan.

Konsep dasar pemodelan dengan bantuan skala model adalah membentuk kembali masalah atau fenomena yang ada di prototipe dalam skala yang lebih kecil, sehingga fenomena yang terjadi di model akan sebangun (mirip) dengan yang ada di prototipe. Kesebangunan yang dimaksud adalah berupa sebangun geometrik, sebangun kinematik dan sebangun dinamik (Yuwono, 1996).

Hubungan antara model dan prototipe diturunkan dengan skala, untuk masing-masing parameter mempunyai skala tersendiri dan besarnya tidak sama. Skala dapat didefinisikan sebagai rasio antara nilai yang ada di prototipe dengan nilai parameter tersebut pada model.

2.2.8.1 Sebangun Geometrik

Sebangun geometrik dipenuhi apabila bentuk model dan prototipe sebangun. Hal ini berarti bahwa perbandingan semua ukuran panjang antara model dan prototipe harus sebanding, dengan skala model diberi notasi n_L dengan persamaan sebagai berikut (Hughes, 1993).

- Skala panjang

$$n_L = \frac{L_p}{L_m} = \frac{\text{panjang pada prototipe}}{\text{panjang pada model}}$$

- Skala tinggi

$$n_h = \frac{h_p}{h_m} = \frac{\text{tinggi pada prototipe}}{\text{tinggi pada model}}$$

Skala berat untuk armor dihitung dengan merasiokan protoitpe terhadap model, dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$W_a = \gamma_a V$$

Dimana :

W_a = berat armor (kg)

γ_a = berat jenis armor (kg/m³)

V = volume armor (m³)

Rapat massa model dapat diketahui dari persamaan :

$$(\gamma_a)_m = (\gamma_a)_p \frac{(\gamma W)_m}{(\gamma W)_p}$$

Dimana : $(\gamma_a)_m$ = rapat massa model (kg/m³)

$(\gamma_a)_p$ = rapat massa prototipe (kg/m³)

$(\gamma W)_m$ = rapat massa air tawar (kg/m³)

$(\gamma W)_p$ = rapat massa air laut (kg/m³)

Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai hubungan skala berat (n_{W_a}) sebagai berikut (Hughes, 1993) :

$$n_{W_a} = n_{\gamma_a} \cdot n_L^3$$

Dimana n_{W_a} adalah nilai perbandingan rapat massa prototype dengan rapat massa model, dengan demikian berat model dapat dihitung.

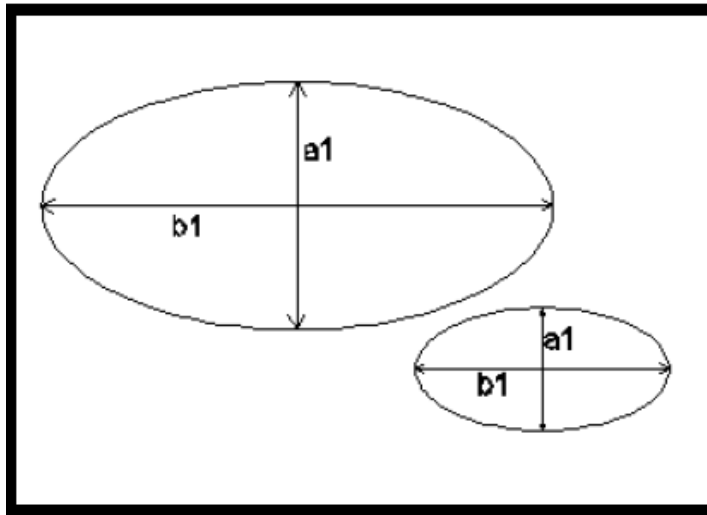
$$(W_a)_m = \frac{(W_a)_p}{n_{W_a}}$$

Dimana :

(Wa)_m = berat model (kg)

(Wa)_p = berat prototipe (kg)

n_{wa} = angka skala berat armor



Gambar 2.7 Contoh sebangun geometrik

2.2.8.2 Sebangun Kinematik

Sebangun kinematik dipenuhi apabila aliran pada model dan prototipe sebangun. Hal ini berarti bahwa kecepatan aliran di titik-titik yang sama pada model dan prototipe mempunyai arah yang sama dan sebanding. Berdasarkan kesebangunan kinematik dapat diberikan nilai-nilai skala :

- Skala waktu

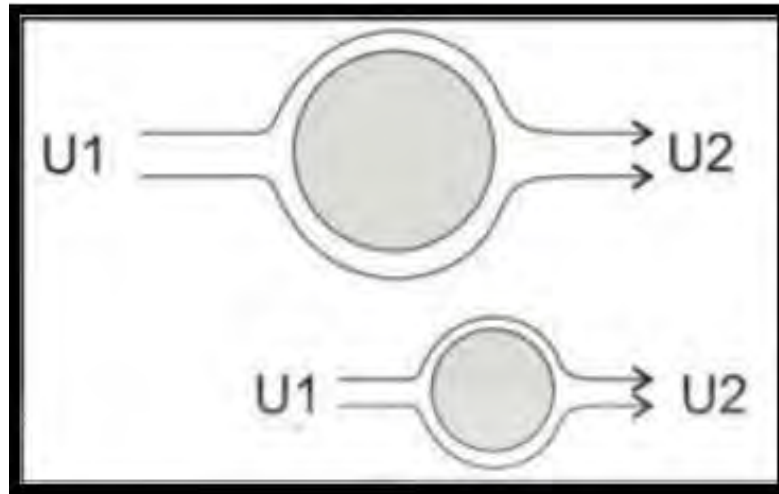
$$n_T = \frac{T_p}{T_m}$$

- Skala kecepatan

$$n_U = \frac{U_p}{U_m} = \frac{n_L}{n_T}$$

- Skala percepatan

$$n_U = \frac{a_p}{a_m} = \frac{n_L}{n_T^2}$$



Gambar 2.8 Contoh sebangun kinematik

2.2.8.3 Sebangun Dinamik

Sebangun dinamik dipenuhi jika model dan prototipe sebangun geometrik dan sebangun kinematik juga perbandingan gaya-gaya yang bersangkutan pada model dan prototipe adalah sama. Gaya-gaya yang dimaksud adalah gaya inersia, gaya tekanan, gaya berat, gaya gesek dan tegangan permukaan. Hughes (1993), menyatakan bahwa pada bangunan pantai proses fisik yang terjadi dipengaruhi oleh gaya inersia terhadap gaya gravitasi yang kemudian dikenal dengan istilah bilangan Froude. Jika gaya yang bekerja adalah perbandingan gaya inersia terhadap gaya gesek disebut bilangan Reynold, perbandingan gaya inersia terhadap gaya elastis disebut bilangan Cauchy, perbandingan gaya inersia terhadap gaya tegangan permukaan disebut bilangan Weber.

- Gaya inersia

$$F_I = M \cdot a = \rho L^3 \cdot \frac{L}{T^2} = \rho U^2 \cdot L^2$$

- Gaya tekanan

$$F_p = \rho \cdot A = \rho \cdot L^2$$

- Gaya berat

$$F_w = M \cdot g = \rho L^3 \cdot g$$

2.2.9 Bilangan Froude

Bilangan Froude dapat dituliskan sebagai ratio antara gaya inersia dengan percepatan gravitasi, maka bisa dituliskan sebagai berikut :

$$Fr = \frac{F_I}{F_W} = \frac{\rho U^2 L^2}{\rho g L^3} = \frac{U^2}{gL}$$

Apabila gaya gravitasi dan gaya inersia sama-sama memegang peranan penting dalam permasalahan, maka rasio kedua gaya tersebut pada model dan prototype harus sama. Kriteria ini disebut kriteria sebangun menurut kondisi bilangan froude

$$n_{Fr} = \frac{n_u}{(n_L)^{1/2}}$$
$$n_{Fr} = \frac{Fr_p}{Fr_m} = 1$$

Apabila menggunakan model tanpa distorsi, maka skala panjang , skala waktu dan skala berat dapat ditulis sebagai n_L , $\sqrt{n_L}$, dan n_L^3 . Maksud dari model tanpa distorsi adalah dimana skala kearah horizontal dan skala ke arah vertikal sama.

2.2.10 Analisa Parameter

Bilangan tak berdimensi digunakan untuk menyatakan hubungan antar parameter serta dipakai untuk menggambarkan hasil-hasil penelitian. Untuk menentukan bilangan tak berdimensi dapat dilakukan dengan analisis dimensi. Beberapa cara/metode yang umum digunakan untuk analisis dimensi yaitu Metode *Basic Echelon*, Metode *Buckingham*, Metode *Rayleigh*, Metode *Stepwise* dan Metode *Langhaar*. Untuk penelitian ini digunakan metode *Buckingham*. Jika parameter tersusun oleh m elemen pokok, maka produk bilangan tak berdimensi dapat diturunkan sejumlah (n-m). Untuk keperluan teknik hidraulik biasanya ada 3 elemen pokok yaitu Massa (M), Panjang (L) dan Waktu (T). Bilangan tak berdimensi dapat dinyatakan :

$$\pi_j = P_1^{k1} P_2^{k2} P_3^{k3} \dots \dots P_n^{kn}$$

Dimana π_j = produk bilangan tak berdimensi, dengan $j = 1, 2, 3, \dots, n$. Jika Π mempunyai dimensi $M^{\alpha_1} L^{\beta_1} T^{\tau_1}$, maka dapat ditulis :

$$\pi_j = (M^{\alpha_1} L^{\beta_1} T^{\tau_1})^{k_1} \cdot (M^{\alpha_2} L^{\beta_2} T^{\tau_2})^{k_2} \dots \dots \dots (M^{\alpha_n} L^{\beta_n} T^{\tau_n})^{k_n}$$

A_j merupakan bilangan tak berdimensi jika :

$$\alpha_1 k_1 + \alpha_2 k_2 \dots \dots \dots + \alpha_n k_n = 0$$

$$\beta_1 k_1 + \beta_2 k_2 \dots \dots \dots + \beta_n k_n = 0$$

$$\tau_1 k_1 + \tau_2 k_2 \dots \dots \dots + \tau_n k_n = 0$$

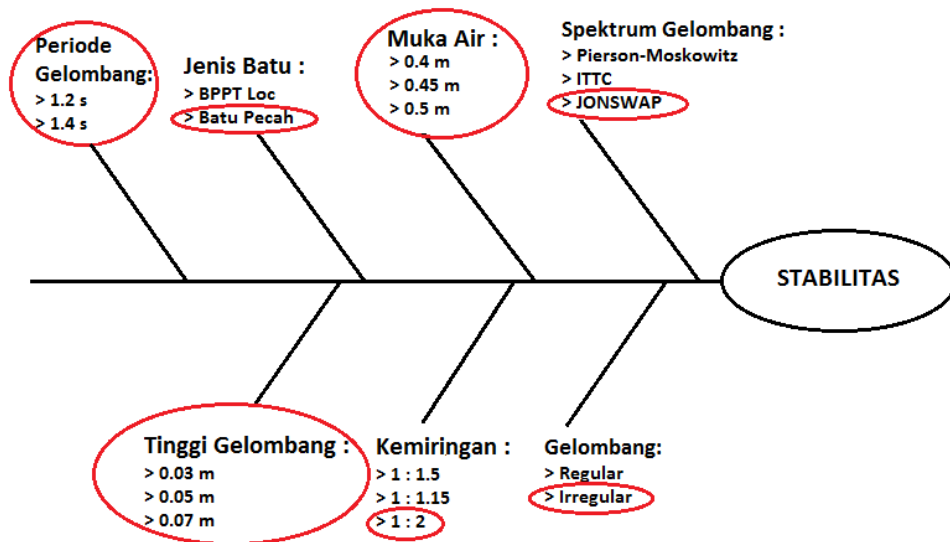
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram *Fishbone*

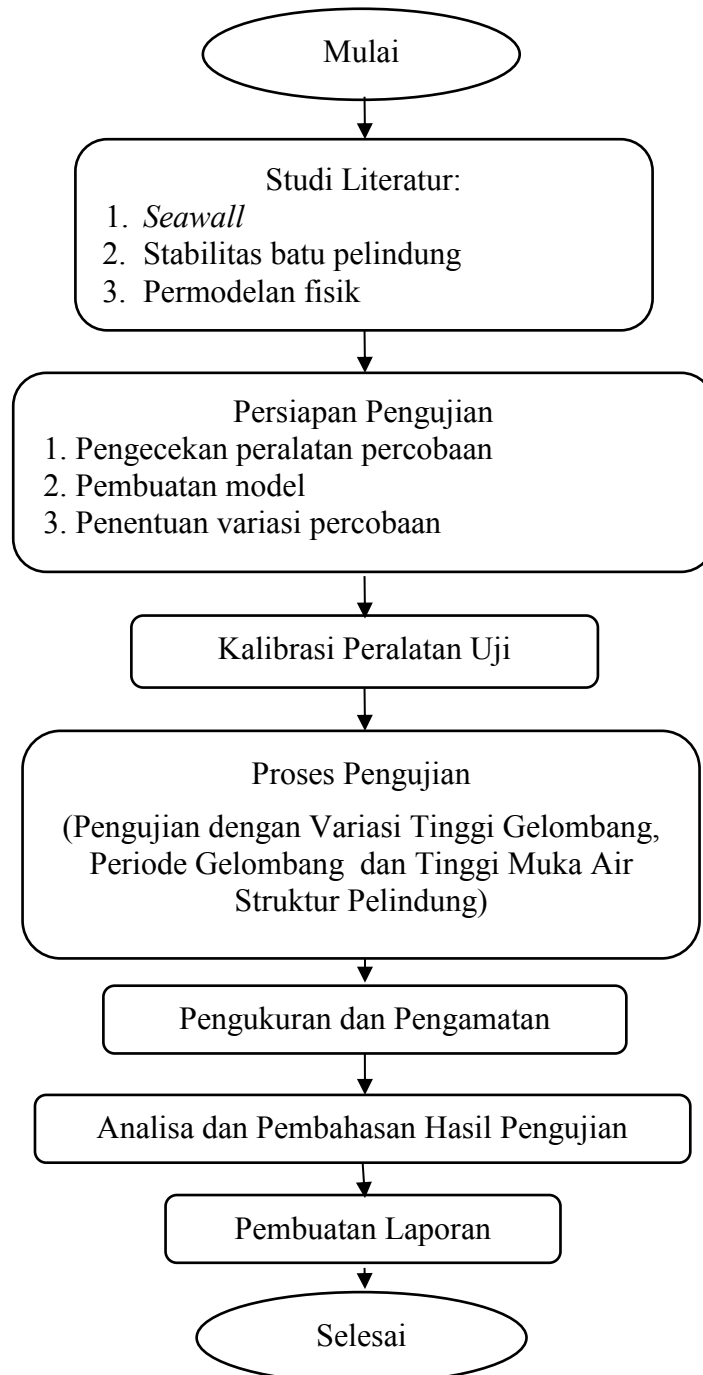
Pada tugas akhir ini akan dilakukan pengujian fisik terhadap stabilitas armor pelindung tipe batu pecah pada struktur *seawall*. Akan dilakukan beberapa variasi seperti tinggi gelombang (H), periode gelombang (T), dan tinggi muka air. Untuk memperudah gambaran ranah yang akan diuji, berikut adalah gambar diagram ikan pada pengujian kali ini



Gambar 3.1 Diagram ikan percobaan stabilitas batu pecah

3.2 Diagram Alir Penelitian

Terdapat beberapa tahapan persiapan penelitian yang perlu dilakukan untuk menguji stabilitas batu pecah pada struktur tersebut. Berikut adalah diagram alir dari penelitian ini :



Gambar 3.2 Diagram alir penelitian

3.3 Penjelasan Diagram Alir

Dari diagram alir penelitian, akan dijelaskan langkah-langkah yang akan digunakan dalam penelitian kali ini, penjelasannya sebagai berikut :

3.3.1 Studi Literatur

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah studi literatur, dimana pada tahap ini berisi tentang kegiatan mencari, mengkaji dan mengumpulkan materi terkait dengan penelitian yang akan dilaksanakan. Literatur yang digunakan anatar lain jurnal, tugas akhir, buku, thesis dan juga internet.

3.3.2 Persiapan Pengujian

Dalam persiapan percobaan ini perlu diketahui bahwa jenis penelitian yang digunakan adalah eksperimental, dimana kondisi tersebut dibuat dan diatur oleh peneliti dengan mengacu pada literature-literatur yang berkaitan dengan penelitian tersebut, serta adanya control dengan tujuan mengetahui ada tidaknya hubungan sebab akibat serta berapa besar hubungan sebab akibat tersebut dengan cara memberikan perlakuan-perlakuan tertentu pada beberapa eksperimental. Sumber data penilitian ini menggunakan dua sumber yaitu :

1. Data primer : data yang diperoleh langsung dari simulasi model fisik di laboratorium.
2. Data sekunder : data yang diperoleh dari literatur dan hasil penelitian yang sudah ada, baik yang dilakukan di laboratorium maupun dilakukan di tempat lain yang berkaitan dengan penelitian stabilitas batu pecah.

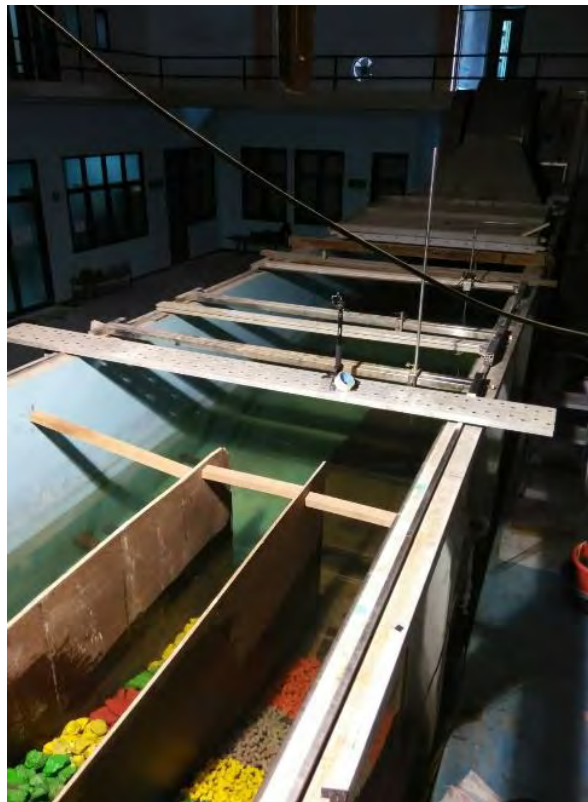
Persiapan percobaan yang perlu dilakukan pada penelitian kali ini akan dijelaskan sebagai berikut :

3.3.2.1 Pengecekan peralatan percobaan

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut, Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS. Sebelum melakukan peneletian sangatlah penting untuk mengetahui fasilitas laboratorium yang akan digunakan. Adapun peralatan yang ada pada laboratorium sebagai berikut :

- Kolam gelombang

Ukuran kolam gelombang yang digunakan dalam penelitian kali ini mempunyai panjang total 20,10 m, lebar 2,00 m, tinggi kolam 1,50 m. Dengan pembangkit gelombang tipe plunger, tingi gelombang maksimum yang dapat dibangkitkan adalah 0,30 m, periode berkisar 0,5 – 3,0 detik untuk gelombang regular sedangkan untuk gelombang irregular menggunakan spektrum gelombang Jonhswap, Pierson-Moskowitz, ISSC dan ITTC.



Gambar 3.3 Kolam gelombang pengujian

- Pembangkit gelombang

Pembangkit gelombang terdiri atas 4 unit pengapung dan penggerak gelombang, sebuah kontrol tekanan dan sebuah komputer khusus dengan sinyal listrik. Dengan pembakit gelombang tipe plunger, tingi gelombang maksimum yang dapat dibangkitkan adalah 0,30 m, periode berkisar 0,5 – 3,0 detik untuk gelombang regular. Masing-masing pengapung digerakkan ke atas dan ke bawah oleh actuator, yang terdiri

dari *linier slide assembly* dan AC servo motor. Semua gerakan pengapung diserentakkan dengan kontrol sistem komputer.



Gambar 3.4 Pembangkit gelombang (Faishal, 2016)

- Wave absorber

Berfungsi sebagai peredam gelombang agar gelombang yang telah dibangkitkan pada kolam uji tidak terpantul. Terbuat dari stainless steel dan bahan kimia dengan panjang 3m. Wave absorber ini diletakkan pada ujung kolam gelombang.

- Wave Probe

Wave probe merupakan alat pengukur tinggi gelombang, apabila alat tersebut tercelup air maka elektroda tersebut mengukur konduktivitas air. Konduktivitas tersebut berubah secara proporsional sesuai dengan variasi perubahan elevasi muka air. Dalam penelitian ini wave probe yang digunakan berjumlah 2 yang dipasang di depan pembangkit gelombang dan di depan model uji.



Gambar 3.5 Wave probe yang digunakan untuk pengujian (Faishal, 2016)

- Sistem komputer

Laboratorium *wave flume* dilengkapi dengan *interface ADC (Analog Digital Converter)* dengan spesifikasi CPU Pentium 266 MHz, RAM 64 Mb, CRT 14 Inch, *Mouse* dan *keyboard*, sistem Windows 95. Alat ini berfungsi sebagai perubah data analog dari *wave probe* menjadi data digital yang diproses dengan menggunakan perangkat lunak. System computer ini berfungsi sebagai alat perekam data pengujian yang nantinya hasil percobaan akan diketahui secara digital.



Gambar 3.6 Perangkat komputer

- Alat kalibrasi

Agar data yang diperoleh dalam sistem komputer dapat akurat pada saat pemodelan fisik, maka terlebih dahulu dilakukan kalibrasi pada alat pengukur gelombang yang dilakukan dengan cara mencatat titik nol dari *wave probe* dan merekam kalibrasinya dengan menaikkan serta menurunkan *wave probe* sejauh 15 cm dengan pencatatan tiap 5 cm dari posisi titik nolnya. Setelah pencatatan selesai *wave probe* harus dikembalikan pada posisi titik nol. Kalibrasi dimaksudkan untuk mencari hubungan antar perubahan tinggi elektroda yang tercelup air dengan perubahan voltase yang tercatat dalam alat perekam.



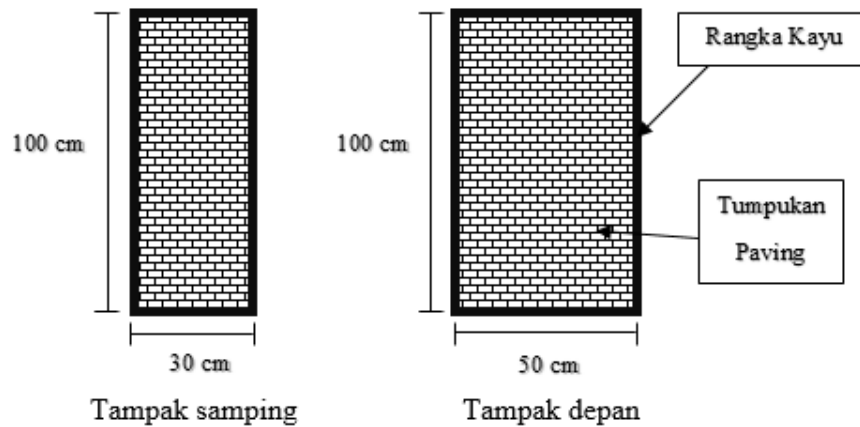
Gambar 3.7 Alat untuk kalibrasi probe (Faishal, 2016)

Pembangkit gelombang yang berfungsi sebagai alat untuk membangkitkan gelombang juga harus dikalibrasi untuk mendapatkan bangkitan data gelombang sesuai data yang diinginkan pada saat pengujian, agar hasil pengujian mempunyai nilai akurasi yang tinggi. Kalibrasi dilakukan dengan cara memasukkan input ketinggian gelombang pada komputer kendali selanjutnya mengukur data gelombang yang telah dibangkitkan apakah sudah sesuai dengan data input yang diharapkan.

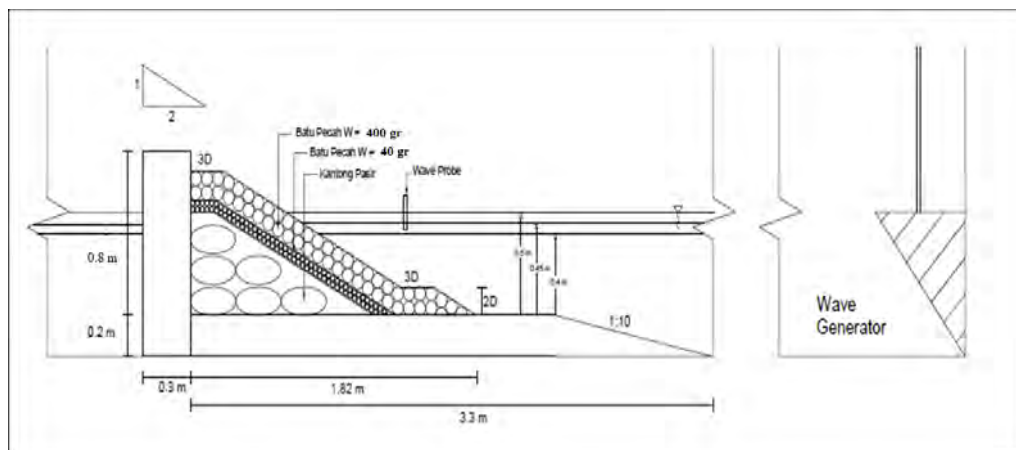
3.3.2.2 Pembuatan Model

Model yang digunakan dalam pengujian adalah struktur *seawall* dengan dinding tegak yang terbuat dari campuran pasir dan semen. Kemudian untuk bagian lapisan pelindung diberi tumpukan kantong pasir pada bagian inti dan lapisan luar berupa batu pecah dengan kemiringan 1 :

2. Dimensi dari dinding tegaknya adalah panjang 0.5 m; tinggi 1 m; lebar 0.3 m.



Gambar 3.8 Model *seawall* tampak depan



Gambar 3.9 Desain tampak samping *seawall* dalam kolam uji

Dalam percobaan model fisik, kesebangunan dinamik antara model dengan prototipe banyak dipengaruhi oleh gravitasi, maka kriteria yang dipakai adalah bilangan Froude (Fr) (Hughes, 1993) :

$$Fr = \frac{F_I}{F_W} = \frac{\rho U^2 L^2}{\rho g L^3} = \frac{U^2}{gL}$$

dengan :

Fr = bilangan Froude

U = kecepatan (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

Nilai skala didapat dari perbandingan antara prototipe dan model, untuk skala panjang dapat ditulis sebagai berikut:

$$Fr = \frac{L_p}{L_m} = \frac{12.5}{0.5} = 25$$

dengan demikian dapat dikatakan skala yang digunakan adalah 1 : 25

Tabel 3.1 Parameter skala model

| No | Besaran | Notasi | Satuan | Prototipe | Model | Skala |
|----|-------------------|--------|--------|-----------|-------|-------------|
| 1 | Panjang spesifik | L | m | 12.5 | 0.5 | 25 |
| 2 | Kedalaman air | d | m | 12.5 | 0.5 | 25 |
| 3 | Tinggi gelombang | H | m | 1.75 | 0.07 | 25 |
| 4 | Periode gelombang | T | s | 6 | 1.2 | $\sqrt{25}$ |
| 5 | Berat batu pecah | W | kg | 3125 | 0.2 | 25^3 |

3.3.2.3 Penentuan parameter gelombang

Pada pengujian stabilitas batu pecah pada struktur *seawall* ini akan dilakukan variasi percobaan seperti tabel berikut :

Tabel 3.2 Variasi percobaan

| TIPE GELOMBANG | KEDALAMAN (m) | TINGGI GELOMBANG | PERIODE |
|-------------------|------------------|---------------------|---------|
| | | m | detik |
| IREGULER | 0.5 | 0.03 | 1.2 |
| | | | 1.4 |
| | | 0.05 | 1.2 |
| | | 0.06 | |
| | | 0.07 | |
| | 0.45 | 0.03 | 1.2 |
| | | | 1.4 |
| | | 0.05 | 1.2 |
| | | 0.06 | |
| | | 0.07 | |

| TIPE GELOMBANG | KEDALAMAN | TINGGI GELOMBANG | PERIODE |
|-------------------|-----------|---------------------|---------|
| | (m) | | |
| | | m | detik |
| | 0.4 | 0.03 | 1.2 |
| | | | 1.4 |
| | | 0.05 | 1.2 |
| | | 0.06 | |
| | | 0.07 | |

Dengan melihat tabel variasi diatas, maka jumlah variasi pengujian yang akan dilakukan sebanyak 15 kali.

Dalam hal penentuan besarnya skala model dilakukan dengan pertimbangan sebagai berikut :

1. Untuk menghasilkan gelombang dengan periode dan tinggi gelombang yang cukup agar secara kualitatif dapat mencerminkan keadaan prototype secara baik.
2. Fasilitas dan material yang tersedia untuk pengujian model.
3. Ketersediaan air yang digunakan di laboratorium
4. Besarnya biaya yang dikeluarkan

3.3.3 Kalibrasi Peralatan Uji

Untuk mengetahui seberapa jauh tingkat kesalahan atau seberapa baik alat percobaan dapat bekerja perlu dilakukan kalibrasi. Kalibrasi sensor fluktuasi muka air atau *wave probe* bertujuan untuk mendapatkan hubungan kesesuaian pada alat sensor pencatat perubahan fluktuasi muka air (*wave probe*) dan skala pembacaan pada *wave height meter* yang berupa voltase. Dari hubungan kesesuaian tersebut dapat dibentuk persamaan yang dapat digunakan sebagai alat untuk mengkonversi hasil *output* berupa voltase menjadi satuan panjang. Sehingga hasil *output* x volt dari hasil rekaman sama dengan x centimeter permukaan air (fluktuasi tinggi gelombang).

Cara untuk melakukan kalibrasi alat ukur gelombang (*wave probe*) adalah dengan menaik turunkan *wave probe* sebanyak 3 titik ke atas dan 3 titik ke bawah dengan mengacu pada titik nol yang sudah ditentukan. Untuk perubahan tiap satu titik adalah sebesar 5 cm. Dengan cara ini kemudian dapat dibentuk suatu persamaan sesuai yang sudah disebutkan sebelumnya.

Mesin pembangkit gelombang juga harus dilakukan kalibrasi untuk mengetahui hasil *output* tinggi gelombang yang dibangkitkan sudah sesuai dengan *input* tinggi gelombang. Hal ini bertujuan agar hasil pengujian memiliki nilai akurasi yang tinggi. Kalibrasi dilakukan dengan menjalankan mesin pembangkit gelombang dan memasukkan nilai tinggi gelombang tertentu, kemudian mengukur tinggi gelombang yang dibangkitkan apakah sudah sesuai dengan tinggi gelombang yang dimasukkan.

3.3.4 Proses Pengujian

Pengujian model fisik dilakukan di kolam gelombang (*flume tank*) Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut Departemen Teknik Kelautan FTK ITS. Pada percobaan ini hanya digunakan lebar sebesar 0.5 m dari lebar keseluruhan sebesar 2 m, sehingga kita melakukan penyekatan pada kolam tepat di daerah yang akan kita amati sebagaimana gambar berikut ini



Gambar 3.10 Penyekatan pada kolam uji

Pengujian akan dilakukan dengan 5 variasi tinggi gelombang (H) dan periode (T) serta 3 variasi kedalaman (d) untuk mengetahui stabilitas armor pelindung batu pecah pada *seawall*. Gelombang yang dibangkitkan adalah gelombang irreguler dengan menggunakan spectrum JONSWAP. Lama pengujian berkisar antara 50 menit dengan jumlah gelombang kurang lebih 2500 gelombang.

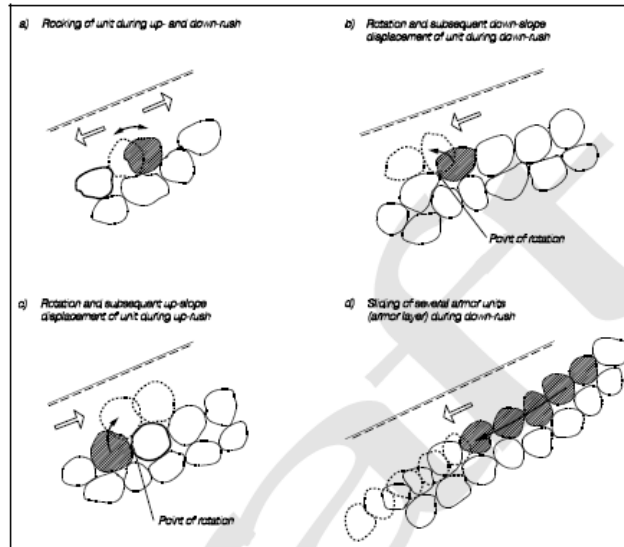
3.3.5 Pengukuran dan Pengamatan

Pengukuran dan pengamatan hasil akan dilakukan setiap kali selesai percobaan 1 variasi. Hal ini dilakukan agar hasil yang didapat valid dan tidak tertukar dengan variasi yang lain. Pengamatan visual dilakukan dengan cara memfoto model sebelum dan sesudah pengujian. Hal ini dilakukan untuk mengamati perubahan yang terjadi pada armor batu pecah. Selain menggunakan foto, kami juga menggunakan rekaman untuk memperoleh momen saat terjadi pergerakan sampai batu itu mengguling. Untuk mempermudah pengamatan, kami memberikan 3 warna berbeda pada batu dan membaginya menjadi 6 zona. Zona dibagi menjadi 2 yaitu atas dan bawah dengan susunan merah, hijau dan kuning seperti gambar berikut.



Gambar 3.11 Pembagian zona batu pecah

Berikut adalah beberapa tipe kegagalan menurut Burcharth (1993)



Gambar 3.12 Tipe-tipe kegagalan armor pelindung (Burcharth ,1993)

- Batu berguling ke atas ke bawah tetapi masih berada di dalam formasi
- Batu keluar dari formasi yang ada dan berguling ke bawah
- Batu keluar dari formasi yang ada dan berguling ke atas
- beberapa batu berguling ke bawah secara bersamaan

3.3.6 Analisa dan Pembahasan Hasil Pengujian

Setelah didapatkan hasil dari percobaan pada semua variasi maka akan dilakukan analisa dengan menghubungkan grafik antara Koefisien stabilitas dengan parameter yang diinginkan seperti kecuraman gelombang ($H^2\pi/gT^2$), kedalaman air relatif (d/H) dan Level kerusakan ($D\%$).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pendahuluan

Uji stabilitas pada penelitian kali ini dilakukan dengan mengamati perilaku batu pecah sebagai armor pelindung *seawall* yang terkena gelombang. Pada penelitian ini batu pecah sebagai armor pelindung *seawall* disusun dengan kemiringan 1 : 2 sebanyak 2 lapis dengan $Dn_{50} = 300$ gr. Variasi yang dilakukan adalah dengan merubah kedalaman yaitu 0.5 m, 0.45 m, dan 0.4 m. Input parameter tinggi gelombang (H) yang digunakan sebesar 0.03 ; 0.05 ; 0.06 ; 0.07 m serta untuk periode gelombang (T) yaitu sebesar 1.2 dan 1.4 s. Gelombang yang digunakan adalah gelombang irregular dengan menggunakan spectrum JONSWAP sebanyak kurang lebih 1500 gelombang.

Pada pengujian kali ini batu dianggap tidak stabil apabila ketika batu diberi gelombang, batu tersebut mengalami perpindahan atau pergeseran dari posisi awal penempatan. Pengamatan secara visual dilakukan dengan dua cara yaitu memfoto sebelum dan sesudah setiap kali satu variasi diuji. Hal ini untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada batu pecah sebelum dan sesudah diuji. Kedua adalah merekan momen terjadinya perpindahan batu pecah akibat gelombang yang mengenainya.

4.2 Analisa Data

Dari pengujian yang dilakukan akan dihasilkan data yang perlu kita lakukan analisa data untuk mengetahui apakah data yang kita dapatkan sudah sesuai dan dapat memenuhi kriteria yang ada untuk dilakukan perhitungan lebih lanjut

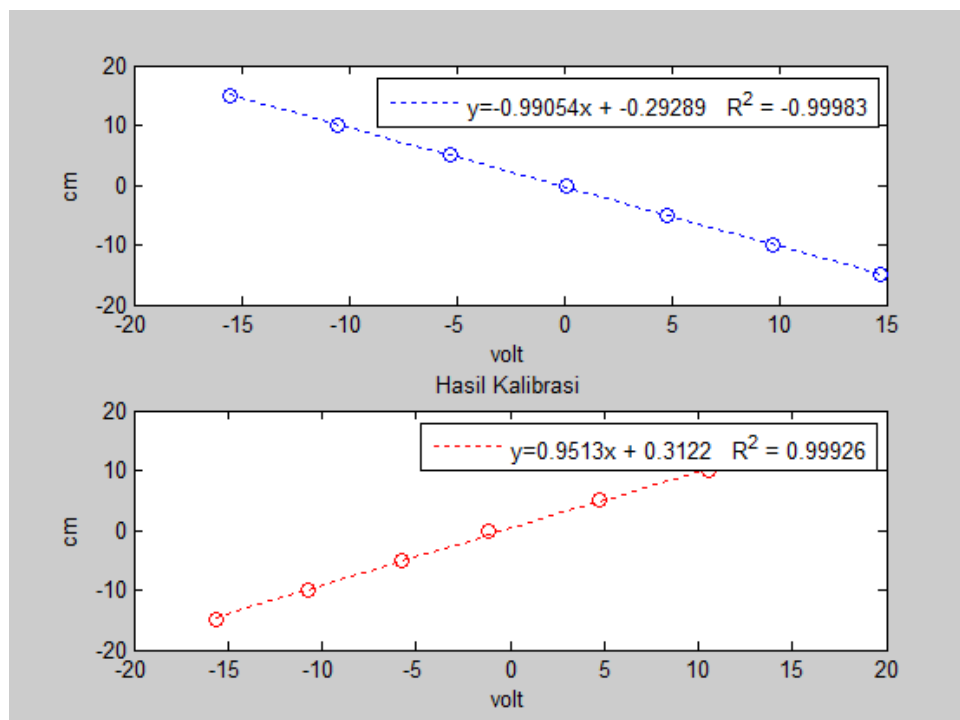
4.2.1 Kalibrasi Probe

Kalibrasi adalah proses pembacaan tinggi gelombang dengan menggunakan *wave probe*, dengan membandingkan bacaan pada *wave probe* dengan besaran yang diukur. Diawali dengan mencatat *zero point* yang merupakan titik referensi awal atau titik nol yang mengindikasikan permukaan air tenang. Kemudian probe dinaik dan diturunkan sejauh 15 cm dari titik nol dengan pencatatan dilakukan

setiap 5 cm. Kalibrasi dilakukan setiap harinya sebelum pengujian dilakukan untuk memastikan keakuratan data. Adapun hasil dari kalibrasi probe dapat dilihat pada tabel dan gambar dibawah ini.

Tabel 4.1 Data dari probe 1 dan probe 2

| Jarak Pengukuran | ETA 1 (cm) | ETA 2 (cm) |
|------------------|------------|------------|
| 15 | -15.6151 | 15.61826 |
| 10 | -10.6151 | 10.61826 |
| 5 | 5.08581 | -5.38828 |
| 0 | -0.53933 | 0.34445 |
| -5 | -5.45361 | 5.594075 |
| -10 | -10.8315 | 11.61666 |
| -15 | -15.8315 | 16.61666 |



Gambar 4.1 Hasil kalibrasi dengan menggunakan perangkat lunak AnaWare

4.2.2 Pengolahan Data Hasil Eksperimen

Data pengujian yang terekam oleh probe dengan menggunakan frekuensi 25 Hz. Artinya setiap 1 detik sistem perekam merekam fluktuasi air sebanyak 50 data. Pengujian dilakukan selama 50 menit untuk 1 variasi percobaan. Maka data yang tercatat oleh sistem computer berjumlah 75.000 data. Contoh hasil pembacaan gelombang dapat dilihat seperti pada tabel berikut.

Tabel 4.2 Rekaman data probe 1 dan probe 2

| Data | t | Probe 1 | Probe 2 |
|-------|----------|--------------|----------|
| 1 | 0 | - 0.07572 | 1.503873 |
| 2 | 0.040 | - 0.01391 | 1.503873 |
| 3 | 0.080 | 0.0479 | 1.5039 |
| 4 | 0.120 | 0.0479 | 1.4395 |
| ... | ... | ... | ... |
| ... | ... | ... | ... |
| ... | ... | ... | ... |
| 74998 | 2999.880 | -0.4775 | 1.8581 |
| 74999 | 2999.920 | -0.1684 | 2.2446 |
| 75000 | 2999.960 | 0.5733 | 65.9487 |

Data gelombang terekam oleh sistem Komputer berbentuk format *Time History* atau .TMH. Data tersebut harus diubah formatnya agar dapat terbaca pada perangkat lunak Excel dengan menggunakan bantuan perangkat lunak Revana sehingga diperoleh nilai tegangan fluktuatif yang direkam oleh wave probe dalam kurun waktu tertentu.

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O |
|----|---|---|---|---|---|-------------------------|----------------------------------|-------------|------------|---|-------------|-------------|--------------------------------------|--------|---|
| 1 | | | | | | Data Directory | C:\My Documents\Agustus 2008\dat | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | Data FileName | H 30 T 2 2.TMH | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | Zero Voltage | | -0.0027 | -0.0015 | | | Zero | File name | | |
| 5 | | | | | | Cal. Voltage(with z) | | 0.0289 | -0.0318 | | | Cal. | C:\Program\OTHERS\heny\zeroheny2.TMH | | |
| 6 | | | | | | Cal. Voltage(without z) | | 0.0316 | -0.0303 | | | | C:\Program\OTHERS\heny\calheny2.TMH | | |
| 7 | | | | | | CalSet Value(m) | | 0.2000 | 0.2000 | | | | | | |
| 8 | | | | | | Cal value | | 6.3298 | -6.5959 | | | | | | |
| 9 | | | | | | | INP. | INP. | Fix. | | calc. | | | | |
| 10 | | | | | | setting value | W. period | Samp. Freq. | 2PAI | | W. period 1 | W. period 2 | | | |
| 11 | | | | | | | | 100.0 | 6.283165 | | | | | | |
| 12 | | | | | | Calc.result | calc. | calc. | calc. | | calc. | calc. | calc. | calc. | |
| 13 | | | | | | | Eta1 cos | Eta1 sin | Eta2 cos | | Eta2 sin | cos2 | sin2 | sincos | |
| 14 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | calc. | calc. | calc. | | cal. | | | | |
| 16 | | | | | | Ana result | A1 | B1 | A2 | | B2 | | | | |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | Calc. Point | start (inp.) | end (inp.) | Data No. | | | DEPTH | | | |
| 19 | | | | | | | | | 30000 | | | | | | |
| 20 | | | | | | Time History | No | Eta 1 | Eta 2 | | | | | | |
| 21 | | | | | | Time His. Clear | 0.000 | -0.60114694 | 0.85974604 | | | | | | |
| 22 | | | | | | | 0.010 | -0.60114694 | 0.79533339 | | | | | | |
| 23 | | | | | | Time History | 0.020 | -0.6321 | 0.8275 | | | | | | |
| 24 | | | | | | | 0.030 | -0.6321 | 0.7953 | | | | | | |
| 25 | | | | | | | 0.040 | -0.6321 | 0.8275 | | | | | | |
| 26 | | | | | | Zero UP cross | 0.050 | -0.6321 | 0.7953 | | | | | | |

Gambar 4.2 Tampilan excel macro refana untuk mengambil nilai tegangan dari time history (.TMH)

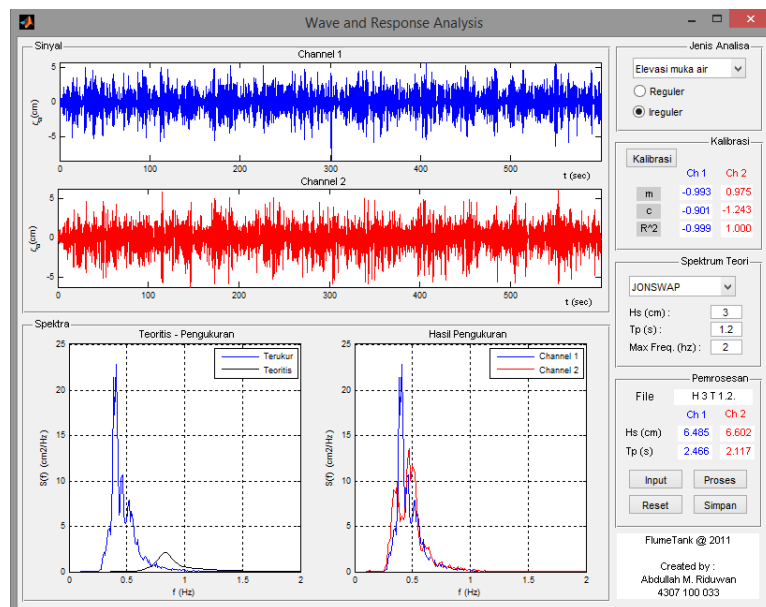
Pada percobaan ini kami memasang 2 probe yaitu Probe 1 dan Probe 2. Namun pada percobaan stabilitas hanya digunakan Probe 1, dimana wave probe 1 pada pengujian ini merupakan probe yang terletak di dekat mesin pembangkit gelombang untuk mencatat gelombang datang. Sementara nilai Eta 2 merupakan nilai tegangan yang terekam oleh wave probe 2, dimana wave probe 2 pada pengujian ini merupakan probe yang terletak di dekat model uji untuk mencatat gelombang refleksi.

| Name | Date modified | Type | Size |
|------------|--------------------|-----------------------|----------|
| 0 | 3/23/2017 5:57 PM | Microsoft Excel 97... | 82 KB |
| AnaWaRe | 9/27/2016 12:50 AM | Application | 118 KB |
| D2 | 3/23/2017 5:58 PM | Microsoft Excel 97... | 79 KB |
| D3 | 3/23/2017 6:00 PM | Microsoft Excel 97... | 79 KB |
| D4 | 3/23/2017 6:00 PM | Microsoft Excel 97... | 138 KB |
| H 3 T 1.2. | 3/23/2017 6:04 PM | Microsoft Excel 97... | 1,192 KB |
| H 3 T 1.4. | 3/23/2017 6:05 PM | Microsoft Excel 97... | 1,192 KB |
| H 5 T 1.2. | 3/23/2017 6:05 PM | Microsoft Excel 97... | 1,192 KB |
| H 6 T 1.2. | 3/23/2017 6:06 PM | Microsoft Excel 97... | 1,192 KB |
| H 7 T 1.2. | 3/23/2017 6:06 PM | Microsoft Excel 97... | 1,192 KB |
| U2 | 3/23/2017 6:01 PM | Microsoft Excel 97... | 79 KB |
| U3 | 3/23/2017 6:01 PM | Microsoft Excel 97... | 78 KB |
| U4 | 3/23/2017 6:03 PM | Microsoft Excel 97... | 133 KB |

Gambar 4.3 Penempatan hasil output Refana dalam satu folder

Selanjutnya digunakan software AnaWare untuk mengetahui nilai tinggi (cm) dan periode gelombang (detik) yang terjadi. Nilai

dari Eta 1 dan Eta 2 baik untuk kalibrasi probe dan rekaman gelombang pengujian yang telah disimpan dalam format Excel ditempatkan dalam satu folder yang sama agar dapat dianalisa dengan menggunakan AnaWare. Hasil kalibrasi probe dibagi pada file Excel yang berbeda untuk setiap perubahan ketinggian dan penurunan 5 cm seperti dapat dilihat pada gambar 4.3. File Excel berjudul 0 menunjukkan nilai 0 atau titik nol wave probe, file D2 merupakan nilai +5 cm, file D3 adalah nilai +10 cm, file D4 adalah nilai +15 cm, file U2 adalah nilai -5 cm, file U3 adalah nilai -10 cm, dan file U4 adalah nilai -15 cm. Nilai pembacaan gelombang antara variasi pengujian yang satu dengan yang lainnya juga terbagi pada file Excel yang berbeda. File Excel berjudul H 3 T 1.2. merupakan pembacaan gelombang untuk variasi pengujian dengan tinggi gelombang 0.03 m dan periode gelombang 1,2 detik, begitupun seterusnya. Pada pengujian ini, diambil data dengan interval 10 menit dari setiap variasi pengujian sebagai sampel untuk menentukan nilai H_i dan T_i gelombang.



Gambar 4.4 Tampilan AnaWare

Untuk pemakaian software AnaWare langkahnya adalah sebagai berikut, pertama menentukan jenis gelombang yang akan dianalisa apakah gelombang reguler atau ireguler. Kemudian

melakukan proses kalibrasi dari file Excel hasil kalibrasi yang ada. Karena pada pengujian ini yang dianalisa adalah gelombang ireguler, maka ditentukan jenis spektrum yang digunakan yaitu spektrum JONSWAP dan juga nilai H_s dan T_p rencana. Inputkan file Excel sesuai dengan tinggi gelombang dan periode gelombang rencana lalu proses. Dari hasil proses diperoleh nilai H_s dan T_p output atau hasil dari pembacaan wave probe. Berikut merupakan hasil olahan dengan menggunakan software AnaWare.

Tabel 4.3 Hasil nilai olahan AnaWare

| Percobaan ke | Jenis Gelombang | Kedalaman m | H.in | Hs | T.in | Tp |
|--------------|-----------------|-------------|------|------|-------|------|
| | | | m | | detik | |
| 1 | Ireguler | 0.5 | 0.03 | 0.06 | 1.4 | 1.67 |
| 2 | | | 0.03 | 0.07 | 1.2 | 1.63 |
| 3 | | | 0.05 | 0.12 | 1.2 | 1.62 |
| 4 | | | 0.06 | 0.13 | 1.2 | 1.64 |
| 5 | | | 0.07 | 0.14 | 1.2 | 1.61 |
| 6 | | 0.45 | 0.03 | 0.06 | 1.4 | 1.68 |
| 7 | | | 0.03 | 0.07 | 1.2 | 1.62 |
| 8 | | | 0.05 | 0.11 | 1.2 | 1.58 |
| 9 | | | 0.06 | 0.13 | 1.2 | 1.65 |
| 10 | | | 0.07 | 0.14 | 1.2 | 1.63 |
| 11 | | 0.4 | 0.03 | 0.06 | 1.4 | 1.67 |
| 12 | | | 0.03 | 0.07 | 1.2 | 1.60 |
| 13 | | | 0.05 | 0.11 | 1.2 | 1.56 |
| 14 | | | 0.06 | 0.13 | 1.2 | 1.62 |
| 15 | | | 0.07 | 0.14 | 1.2 | 1.60 |

Dari tabel diatas dapat diambil kesimpulan bahwa nilai tinggi gelombang dan periode gelombang rencana atau yang diinputkan tidak sama nilainya dengan yang tercatat pada sistem perekem data atau output-annya. Hal ini bisa disebabkan akibat kinerja sistem atau pembangkit gelombang yang kurang optimal.

4.3 Pengamatan Pengujian Secara Visual

Pada pengujian kali ini juga dilakukan pengamatan visual. Pengamatan dilakukan selama proses pengujian berlangsung dan untuk

mendapatkan bukti adanya pengamatan visual maka juga dilakukan perekaman dan foto sebelum sesudah pengujian. Untuk mempermudah pengamatan maka dilakukan pembagian zona pada batu yaitu dengan cara dicat dengan 3 warna yang berbeda. Zona dibagi menjadi 6 yaitu merah atas, hijau atas, kuning atas, merah bawah, hijau bawah, dan kuning bawah. Pengamatan visual dilakukan untuk melihat apakah ada perpindahan tempat dari batu pecah. Apabila terdapat perpindahan maka menurut Burcharth (1993) armor tersebut dianggap tidak stabil. Berikut adalah salah satu contoh hasil foto sesudah dan sebelum pengujian dengan $H_s = 0.14 \text{ m}$; $T_p = 1.64 \text{ s}$ dan $d = 0.5 \text{ m}$ selama 50 menit terdapat perpindahan 4 buah batu.



Gambar 4.5 Foto sesudah dan sebelum salah satu variasi pengujian.

Berikut adalah tabel yang menunjukkan hasil eksperimen untuk setiap kedalaman

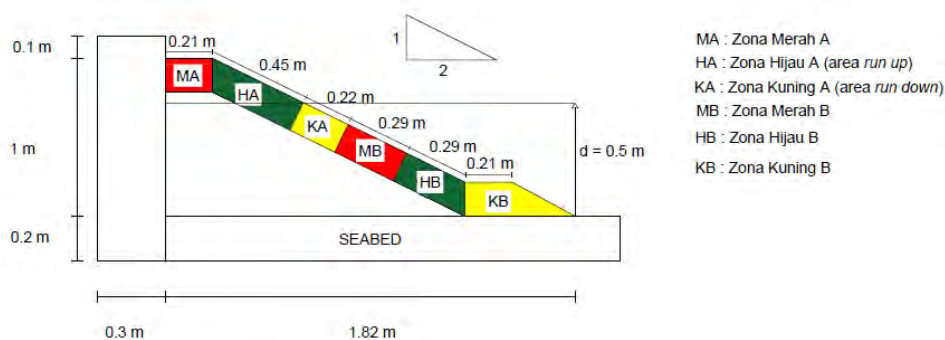
Tabel 4.4 Hasil pengamatan visual respon model uji

| Percobaan ke | Kedalaman m | Hs m | Tp detik | Status |
|--------------|-------------|------|----------|--------|
| | | | | |
| 1 | 0.5 | 0.06 | 1.67 | STABIL |
| 2 | | 0.07 | 1.63 | STABIL |
| 3 | | 0.12 | 1.62 | STABIL |
| 4 | | 0.13 | 1.64 | TIDAK |
| 5 | | 0.14 | 1.61 | TIDAK |
| 6 | 0.45 | 0.06 | 1.68 | STABIL |
| 7 | | 0.07 | 1.62 | STABIL |
| 8 | | 0.11 | 1.58 | STABIL |
| 9 | | 0.13 | 1.65 | TIDAK |
| 10 | | 0.14 | 1.63 | TIDAK |
| 11 | 0.4 | 0.04 | 1.67 | STABIL |
| 12 | | 0.06 | 1.60 | STABIL |
| 13 | | 0.09 | 1.56 | STABIL |
| 14 | | 0.11 | 1.62 | STABIL |
| 15 | | 0.12 | 1.60 | STABIL |

Tabel 4.4 menunjukkan hasil pengamatan yang kami lakukan dimana armor batu pecah yang mengalami perpindahan dikatakan “TIDAK STABIL” sedangkan armor batu pecah yang tidak mengalami perpindahan dikatakan “STABIL”.

Untuk lebih jelasnya akan dilaporkan rincian pengamatan visual tiap kedalaman pada sub-bab selanjutnya

4.3.1 Pengamatan Visual Kedalaman $d = 0.5$ m



Gambar 4.6 Ilustrasi tampak samping peletakan batu pecah $d = 0.5$ m

Banyaknya variasi yang dilakukan adalah 5 kali seperti yang ditampilkan pada **tabel 4.3** selama 50 menit. Batu pecah yang tersusun berjumlah 484 dengan rincian seperti berikut

Tabel 4.5 Jumlah batu pecah yang digunakan untuk variasi $d = 0.5$ m

| Zona | Jumlah batu |
|-----------------------------------|-------------|
| Merah A | 121 |
| Hijau A (<i>area run up</i>) | 122 |
| Kuning A (<i>area run down</i>) | 63 |
| Merah B | 67 |
| Hijau B | 32 |
| Kuning B | 109 |
| Total | 484 |

Hasil pengamatan visual terhadap perpindahan armor batu pecah selama proses pengujian berlangsung sebagai berikut :

- Pengujian dengan $H = 0.03$ m dan $T = 1.2$ s
Tidak terjadi perpindahan batu selama pengujian berlangsung sehingga model uji dinyatakan stabil.
- Pengujian dengan $H = 0.03$ m dan $T = 1.4$ s
Tidak terjadi perpindahan batu selama pengujian berlangsung sehingga model uji dinyatakan stabil.
- Pengujian dengan $H = 0.05$ m dan $T = 1.2$ s
Tidak terjadi perpindahan batu selama pengujian berlangsung sehingga model uji dinyatakan stabil.
- Pengujian dengan $H = 0.06$ m dan $T = 1.2$ s

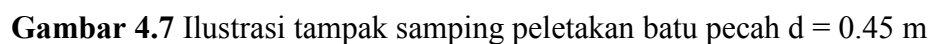
Tabel 4.6 Pengamatan perpindahan batuan $H = 0.06$ m dan $T = 1.2$ s

| Zona | 10 menit | 20 menit | 30 menit | 40 menit | 50 menit |
|-----------------------------------|----------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Merah A | | | | | |
| Hijau A (<i>area run up</i>) | | | | | |
| Kuning A (<i>area run down</i>) | 1 batu berpindah ke zona merah B | | | | |
| Merah B | | | | | |
| Hijau B | | | | | |
| Kuning B | | | | | |

- Pengujian dengan $H = 0.07$ m dan $T = 1.2$ s

| Zona | 10 menit | 20 menit | 30 menit | 40 menit | 50 menit |
|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------|----------|
| Merah A | | | | | |
| Hijau A (area <i>run up</i>) | | | | | |
| Kuning A (area <i>run down</i>) | 1 batu berpindah ke zona merah B | 1 batu berpindah ke zona merah B | 1 batu berpindah dari posisinya | | |
| Merah B | | | | | |
| Hijau B | | | | | |
| Kuning B | | | | | |

4.3.2 Pengamatan Visual Kedalaman $d = 0.45 \text{ m}$



48

Tabel 4.8 Jumlah batu pecah yang digunakan untuk variasi $d = 0.45$ m

| Zona | Jumlah batu |
|-----------------------------------|-------------|
| Merah A | 121 |
| Hijau A (<i>area run up</i>) | 122 |
| Kuning A (<i>area run down</i>) | 63 |
| Merah B | 67 |
| Hijau B | 32 |
| Kuning B | 109 |
| Total | 484 |

Hasil pengamatan visual terhadap perpindahan armor batu pecah selama proses pengujian berlangsung sebagai berikut :

- Pengujian dengan $H = 0.03$ m dan $T = 1.2$ s
Tidak terjadi perpindahan batu selama pengujian berlangsung sehingga model uji dinyatakan stabil.
- Pengujian dengan $H = 0.03$ m dan $T = 1.4$ s
Tidak terjadi perpindahan batu selama pengujian berlangsung sehingga model uji dinyatakan stabil.
- Pengujian dengan $H = 0.05$ m dan $T = 1.2$
Tidak terjadi perpindahan batu selama pengujian berlangsung sehingga model uji dinyatakan stabil.
- Pengujian dengan $H = 0.06$ m dan $T = 1.2$ s

Tabel 4.9 Pengamatan perpindahan batuan $H = 0.06$ m dan $T = 1.2$ s

| Zona | 10 menit | 20 menit | 30 menit | 40 menit | 50 menit |
|--------------------------------------|----------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Merah A | | | | | |
| Hijau A (<i>area run up</i>) | | | | | |
| Kuning A (<i>area run down</i>) | 1 batu berpindah ke zona merah B | | | | |
| Merah B | | | | | |
| Hijau B | | | | | |
| Kuning B | | | | | |

Selama pengujian berlangsung terdapat 1 batu berwarna kuning yang berpindah dengan berat yaitu 140 gram.

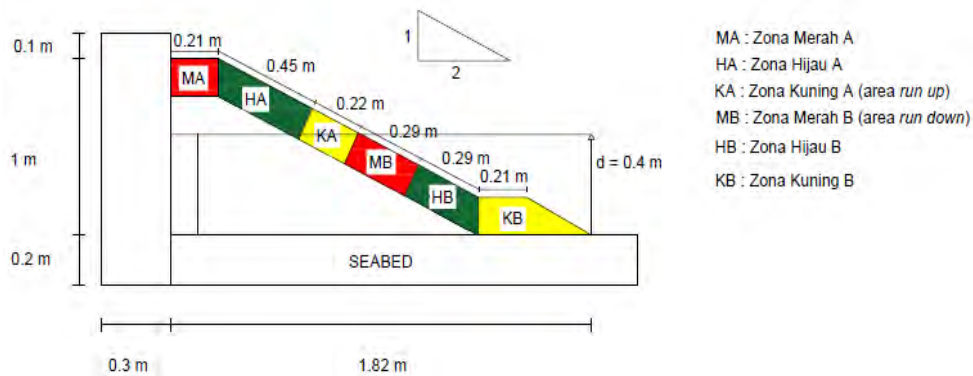
- Pengujian dengan $H = 0.07$ m dan $T = 1.2$ s

Tabel 4.10 Pengamatan perpindahan batuan $H = 0.07$ m dan $T = 1.2$ s

| Zona | 10 menit | 20 menit | 30 menit | 40 menit | 50 menit |
|-------------------------------------|---|----------|----------|----------|----------|
| Merah A | | | | | |
| Hijau A (area <i>run up</i>) | | | | | |
| Kuning A (area <i>run down</i>) | 1 batu berpindah ke zona merah B dan 1 batu berpindah ke zona hijau B | | | | |
| Merah B | | | | | |
| Hijau B | | | | | |
| Kuning B | | | | | |

Selama pengujian berlangsung terdapat 2 batu berwarna kuning yang berpindah dengan berat yaitu 264 dan 280 gram.

4.3.3 Pengamatan Visual Kedalaman $d = 0.4$ m



Gambar 4.8 Ilustrasi tampak samping peletakan batu pecah $d = 0.4$ m

Banyaknya variasi yang dilakukan adalah 5 kali seperti yang ditampilkan pada **tabel 4.3** selama 50 menit. Batu pecah yang tersusun berjumlah 484 dengan rincian seperti berikut

Tabel 4.11 Jumlah batu pecah yang digunakan untuk variasi $d = 0.4$ m

| Zona | Jumlah batu |
|----------------------------------|-------------|
| Merah A | 121 |
| Hijau A (area <i>run up</i>) | 122 |
| Kuning A (area <i>run down</i>) | 63 |
| Merah B | 67 |
| Hijau B | 32 |
| Kuning B | 109 |
| Total | 484 |

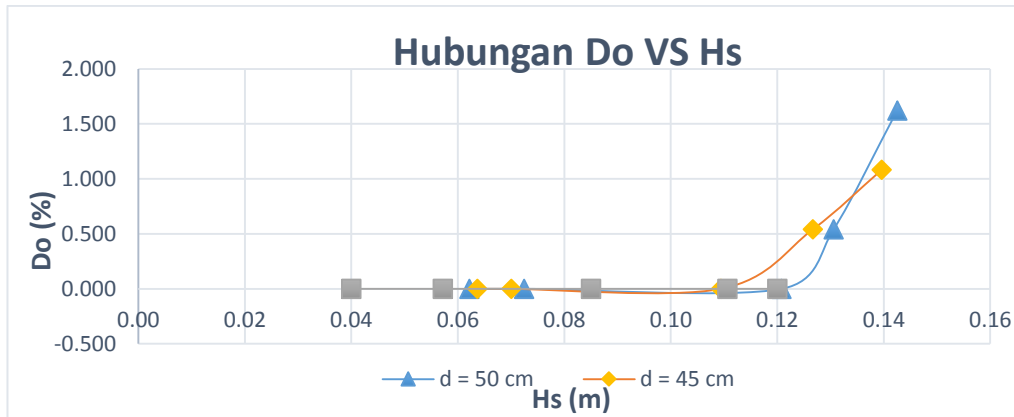
Hasil pengamatan visual terhadap perpindahan armor batu pecah selama proses pengujian berlangsung sebagai berikut :

- Pengujian dengan $H = 0.03$ m dan $T = 1.2$ s
Tidak terjadi perpindahan batu selama pengujian berlangsung sehingga model uji dinyatakan stabil.
- Pengujian dengan $H = 0.03$ m dan $T = 1.4$ s
Tidak terjadi perpindahan batu selama pengujian berlangsung sehingga model uji dinyatakan stabil.
- Pengujian dengan $H = 0.05$ m dan $T = 1.2$ s
Tidak terjadi perpindahan batu selama pengujian berlangsung sehingga model uji dinyatakan stabil.
- Pengujian dengan $H = 0.06$ m dan $T = 1.2$
Tidak terjadi perpindahan batu selama pengujian berlangsung sehingga model uji dinyatakan stabil.
- Pengujian dengan $H = 0.07$ m dan $T = 1.2$
Tidak terjadi perpindahan batu selama pengujian berlangsung sehingga model uji dinyatakan stabil.

Pada kedalaman $d = 0.4$ m tidak terjadi perpindahan armor batu pecah sama sekali dan armor dinyatakan “STABIL”.

4.4 Pengaruh tinggi gelombang signifikan (H_s) terhadap *Damage Percent* (Do)

Hubungan antara *damage percent* (Do) terhadap tinggi gelombang signifikan (H_s) untuk setiap variasi kedalaman ditunjukkan pada gambar 4.9



Gambar 4.9 Grafik hubungan antara *damage percent* (*Do*) dan tinggi gelombang signifikan (*Hs*)

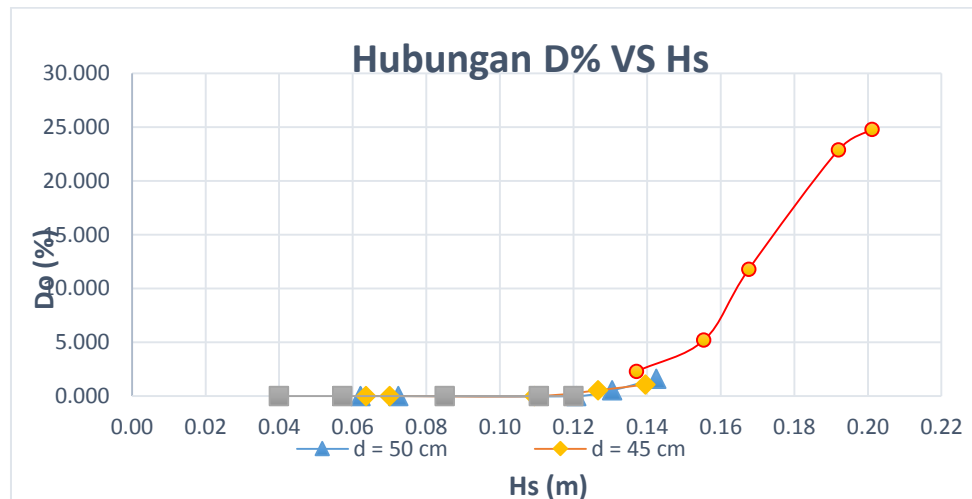
Berdasarkan gambar diatas, didapatkan dua kesimpulan yaitu *damage percent* (*Do*) semakin naik apabila tinggi gelombang signifikan (*Hs*) jua semakin besar. Kedua adalah *damage percent* (*Do*) semakin naik apabila kedalaman semakin besar. *damage percent* (*Do*) terbesar dicapai pada kedalaman $d = 0.5$ m dan tinggi gelombang signifikan $H_s = 0.14$ m yaitu sebesar 1.62 %. Sedangkan pada kedalaman $d = 0.45$ m dengan $H_s = 0.14$ adalah 1.08 %. Untuk kedalaman $d = 40$ tidak terjadi keruntuhan pada batu pecah atau bisa dikatakan stabil. Untuk lebih detail bisa dilihat pada tabel 4.12

Tabel 4.12 Perbandingan *damage percent* (*Do*) terhadap tinggi gelombang signifikan (*Hs*)

| Kedalaman (<i>d</i>) m | H & T input (m & s) | Output | | |
|-----------------------------|---------------------------------|---------------|-------------------|---------------|
| | | <i>Hs</i> (m) | Jumlah batu jatuh | <i>Do</i> (%) |
| 0.5 | <i>Hs</i> = 3 & <i>Tp</i> = 1.4 | 0.06 | 0 | 0 |
| | <i>Hs</i> = 3 & <i>Tp</i> = 1.2 | 0.07 | 0 | 0 |
| | <i>Hs</i> = 5 & <i>Tp</i> = 1.2 | 0.12 | 0 | 0 |
| | <i>Hs</i> = 6 & <i>Tp</i> = 1.2 | 0.13 | 1 | 0.54 |
| | <i>Hs</i> = 7 & <i>Tp</i> = 1.2 | 0.14 | 3 | 1.62 |
| 0.45 | <i>Hs</i> = 3 & <i>Tp</i> = 1.4 | 0.06 | 0 | 0 |
| | <i>Hs</i> = 3 & <i>Tp</i> = 1.2 | 0.07 | 0 | 0 |
| | <i>Hs</i> = 5 & <i>Tp</i> = 1.2 | 0.11 | 0 | 0 |
| | <i>Hs</i> = 6 & <i>Tp</i> = 1.2 | 0.13 | 1 | 0.54 |
| | <i>Hs</i> = 7 & <i>Tp</i> = 1.2 | 0.14 | 2 | 1.08 |

| Kedalaman (d) m | H & T input (m & s) | Output | | |
|--------------------|------------------------|--------|----------------------|--------|
| | | Hs (m) | Jumlah batu jatuh | Do (%) |
| 0.4 | Hs = 3 & Tp = 1.4 | 0.06 | 0 | 0 |
| | Hs = 3 & Tp = 1.2 | 0.07 | 0 | 0 |
| | Hs = 5 & Tp = 1.2 | 0.12 | 0 | 0 |
| | Hs = 6 & Tp = 1.2 | 0.13 | 0 | 0 |
| | Hs = 7 & Tp = 1.2 | 0.14 | 0 | 0 |

Berikut adalah perbandingan pengujian yang kami lakukan dengan hasil pengujian dari Carver dkk, 1986 pada buku *“Stability and Wave Transmission Response of Stone and Dolos Armored Rubble Mound Breakwater Trunks Subjected to Extreme Wave Height”*.



Gambar 4.10 Grafik perbandingan terhadap penelitian Carver dkk, 1986.

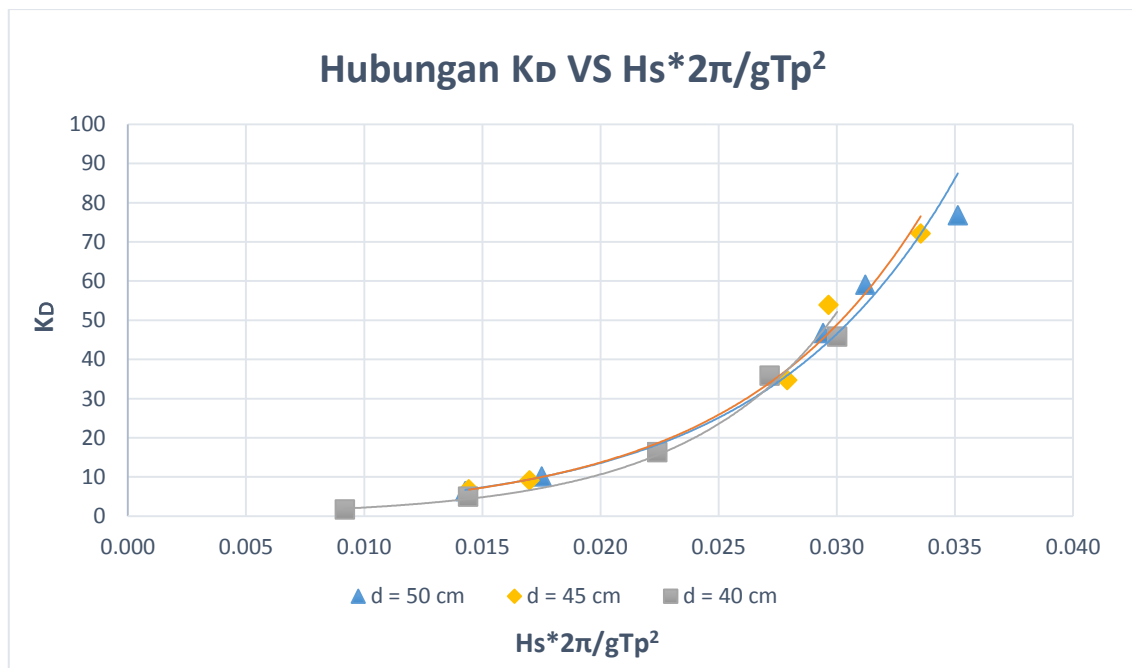
Pada penelitian tersebut Carver dkk melakukan pengujian pada batu alam sebagai armor sebuah breakwater. Berat batu seragam yaitu $W = 250$ gr. Delakukan pengujian dengan 5 variasi tinggi gelombang (H) dan 5 variasi periode (T). Didapatkan hasil *Damage percent* (Do) tertinggi ketika $H = 0.20$ m yaitu 24.8 % sedangkan terendah terdapat pada $H = 0.14$ m yaitu sebesar 2.3 %. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada tabel 4.13

Tabel 4.13 Perbandingan *damage percent* (Do) terhadap tinggi gelombang signifikan (H_s) Carver dkk, 1986.

| H | D% |
|------|------|
| 0.14 | 2.3 |
| 0.16 | 5.2 |
| 0.17 | 11.8 |
| 0.19 | 22.9 |
| 0.20 | 24.8 |

4.5 Pengaruh ketajaman gelombang ($H_s \cdot 2\pi / g \cdot T_p^2$) terhadap koefisien stabilitas (K_d)

Hubungan antara koefisien stabilitas (K_d) terhadap ketajaman gelombang ($H_s \cdot 2\pi / g \cdot T_p^2$) untuk setiap variasi kedalaman ditunjukkan pada gambar 4.11



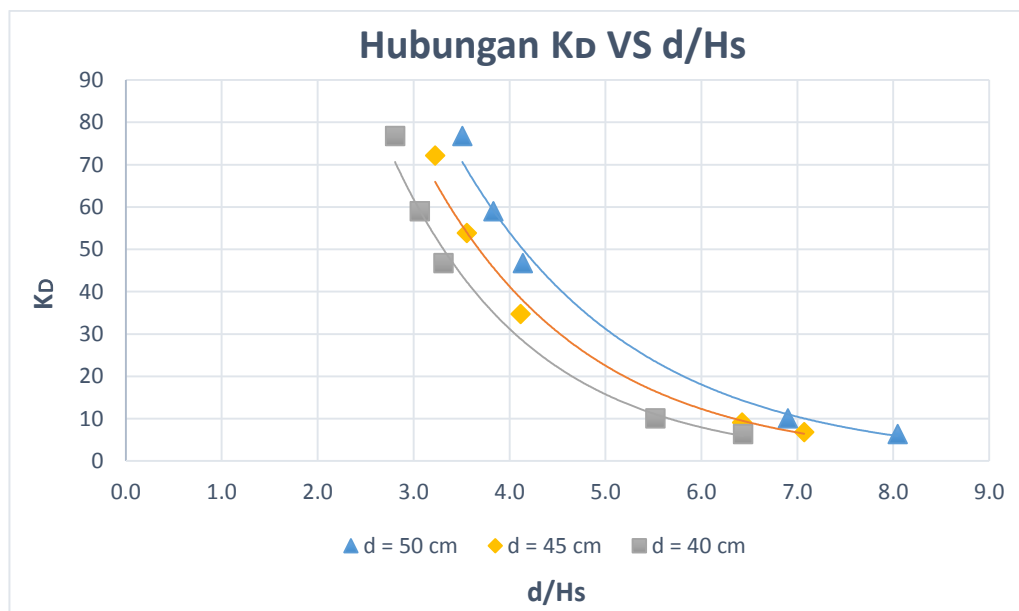
Gambar 4.11 Grafik koefisien stabilitas (K_d) terhadap ketajaman gelombang ($H_s \cdot 2\pi / g \cdot T_p^2$)

Berdasarkan grafik diatas kita dapat menarik hubungan bahwa koefisien stabilitas (K_d) berbanding lurus dengan ketajaman gelombang ($H_s \cdot 2\pi / g \cdot T_p^2$) yaitu semakin besar nilai K_d maka semakin besar pula nilai ketajaman gelombang. Dapat kita tarik kesimpulan bahwa semakin besar nilai K_d maka berat batu (W) yang

dibutuhkan agar armor tersebut stabil semakin kecil. Nilai ketajaman gelombang yang semakin besar akan memiliki kemungkinan untuk terjadi gelombang pecah semakin besar sehingga gaya yang diberikan kepada armor akan semakin kecil. Pada pengujian ini nilai ketajaman gelombang terbesar terdapat pada $H_s = 0.14$ m dan $T_p = 1.61$ s sebesar 0.036 sedangkan nilai dengan ketajaman gelombang paling rendah terdapat pada $H_s = 0.06$ m dan $T_p = 1.67$ s yaitu sebesar 0.014.

4.6 Pengaruh kedalaman relatif (d/H_s) terhadap koefisien stabilitas (K_d)

Hubungan antara koefisien stabilitas (K_d) terhadap kedalaman relatif (d/H_s) dapat dilihat pada gambar 4.12



Gambar 4.12 Grafik koefisien stabilitas (K_d) terhadap kedalaman relatif (d/H_s)

Berdasarkan grafik diatas hubungan antara koefisien stabilitas (K_d) dan kedalaman relatif (d/H_s) adalah berbanding terbalik. Semakin besar nilai koefisien stabilitas (K_d) maka semakin kecil nilai kedalaman relatif (d/H_s). Maka dapat kita simpulkan bahwa semakin kecil kedalaman maka akan semakin kecil berat (W) armor batu pecah yang dibutuhkan untuk tinggi gelombang yang sama, sehingga untuk kedalaman $d = 0.4$ m bisa dikatakan lebih stabil. Hal ini berbanding lurus dengan *damage percent* (Do) yang terjadi dimana pada kedalaman $d = 0.4$ m tidak terjadi keruntuhan terhadap batu atau bisa dikatakan stabil. Nilai d/H_s berada di sekitar 2.807 – 6.435.

Salah satu gaya yang mempengaruhi adalah Gaya Angkat. Dimana untuk $H_s = 0.14$ m dan $T_p = 1.61$ s, gaya angkat terbesar terdapat pada kedalaman $d = 0.5$ m yaitu sebesar 19.5 Newton. Sedangkan pada kedalaman $d = 0.4$ m, gaya angkat yang terjadi sebesar 15.5 Newton. Hal ini terjadi karena luas bidang batuan yang terkena gelombang datang pada kedalaman $d = 0.4$ m lebih kecil dibanding kedalaman $d = 0.5$ m.

Untuk memvalidasi hasil grafik kedalaman relatif, penulis juga membandingkan grafik sejenis dari penelitian orang lain. Didapatkan grafik penulis selaras dengan grafik yang dikeluarkan oleh penelitian dari Esteban M (2012) sebagai berikut

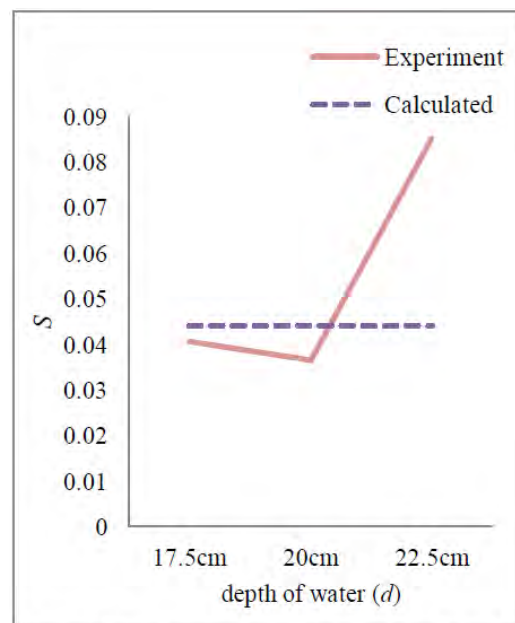


Figure 11. Exp. and calculated S , $\alpha=30^\circ$ and $W=37.5$

Gambar 4.13 Grafik *Damage Armour* (S) terhadap kedalaman air (d) dari Esteban dkk, 2012.

Bisa dilihat bahwa bahwa *Damage Armour* (S) yang terjadi lebih besar pada kedalaman 22.5 cm dibanding dengan kedalaman 17.5 cm. *Damage Armour* (S) sendiri adalah perbandingan antara area yang tererosi (A_e) antara +1 MSL sampai dengan -1 MSL dibagi dengan diameter rata-rata dari batu (D_{n50})

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pembahasan yang telah diuraikan, maka dapat diperoleh kesimpulan antara lain :

1. Peningkatan tinggi gelombang signifikan (H_s) akan mengakibatkan *damage percent* (Do) atau keruntuhan yang terjadi pada armor batu pecah akan semakin besar. *Damage percent* (Do) terbesar dicapai pada kedalaman $d = 0.5$ m dan tinggi gelombang signifikan $H_s = 0.14$ m yaitu sebesar 1.62 %. Sedangkan pada kedalaman $d = 0.45$ m dengan $H_s = 0.14$ adalah 1.08 %.
2. Semakin besar nilai ketajaman suatu gelombang maka semakin besar kecenderungan terjadinya gelombang pecah, sehingga gaya yang diberikan terhadap armor batu pecah semakin kecil. Maka semakin tajam gelombang yang terjadi semakin kecil berat batu pecah yang dibutuhkan untuk tinggi gelombang yang sama. Pada pengujian ini nilai ketajaman gelombang terbesar terdapat pada $H_s = 0.14$ m dan $T_p = 1.61$ s sebesar 0.036. Nilai koefisien stabilitas yang diambil adalah nilai terkecil pada pengujian yang dimana tidak terjadi perpindahan batuan yaitu adalah 3.43.
3. Semakin kecil nilai kedalaman relatif pada suatu perairan maka semakin kecil berat batu (W) yang dibutuhkan agar batu tersebut stabil pada tinggi gelombang yang sama. Dalam pengujian ini untuk tinggi gelombang signifikan $H_s = 0.14$ m, nilai kedalaman relatif paling kecil terdapat pada kedalaman $d = 0.4$ m yaitu sebesar 2.807. Sehingga dapat dikatakan armor batu pecah paling stabil terdapat pada kedalaman $d = 0.4$ m untuk tinggi gelombang signifikan yang sama yaitu $H_s = 0.14$ m. Hal ini berbanding lurus dengan *damage percent* (Do) yang terjadi dimana pada kedalaman $d = 0.4$ m tidak terjadi keruntuhan terhadap batu atau bisa dikatakan stabil.

5.2 Saran

Dari penelitian yang dilakukan, saran penulis untuk penelitian selanjutnya yang serupa adalah:

1. Melakukan penelitian stabilitas batu pelindung pada *seawall* dengan variasi jenis gelombang, periode, tinggi gelombang dan kedalaman perairan yang lebih tinggi atau lebih rendah dari yang dilakukan oleh penelitian ini.
2. Menggunakan teori gelombang yang lain selain teori Jonswap.
3. Susunan batu pecah dapat dikombinasikan dengan batu pelindung lainnya seperti xblock dan dolos.

DAFTAR PUSTAKA

- Battacharyya. 1972. *"Dynamic of Marine Vehicle"*. A Wiley Interscience Publication, John Wiley and Sons, New York.
- Burcharth, H.F. 1993. *"The Design of Breakwaters. Coastal Estuarial, and Harbour Engineers"*. Reference Book, eds. Abbot, M.B. Price, W. A., E & FN SPON London, pp. 381-424.
- Carver, et al., 1986, *"Stability and Wave Transmission Response of Stone and Rubble Mound Breakwater Dolos Armored Trunks subjected to Extreme Wave Height"*. Washington DC; US Army Corps of Engineers
- CERC. 1984. *"Shore Protection Manual"*. Department of The Army Waterway Experiment Station, Corps of Engineering Research Center, Fourth Edition, US Government Printing Office, Washington.
- Dalrymple, R.A., Dean, R.G., Dally, W. 1985. *"Wave Height Variation Across Beaches of Arbitrary Profil"*. J. Geophys. Res., Vol 90 No 6.
- Esteban, M. 2012. *"Stability of Rubblemound Breakwaters Against Solitary Waves"*. Coastal Eng.
- Hudson, R.Y. 1959. *"Laboratory Investigation of Rubblemound Breakwater"*. Waterways and Harbour Division, Vol 85 No WW3.
- Hudson, R.Y. 1975. *"Reliability of Rubblemound Breakwater Stability Models"*. Miscellaneous Paper H-75-5, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Hughes, S.A. 1993. *"physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering"*. First edition, World Scientific, Singapore. p. 177-182.
- Kramer, M., Zanuttigh, B., Van der Meer, J. W. 2005 *"2D and 3D Experiment on Low-Crested Structure for Coastal Management"*. Coastal Eng. p. 841-866
- Triadmodjo. 2011. *"Perencanaan Bangunan Pantai"*. Beta Offset Yogyakarta.
- Yuwono, Nur, Nizam dan Mundra, I.W. 1997. *"Studi Model Fisik Stabilitas dan Unjuk Kerja Reef Buatan Pada Perlindungan Pantai"*. Kumpulan Naskah Ilmiah Teknik Pantai dan Pelabuhan Ilmu Teknik UGM Yogyakarta.

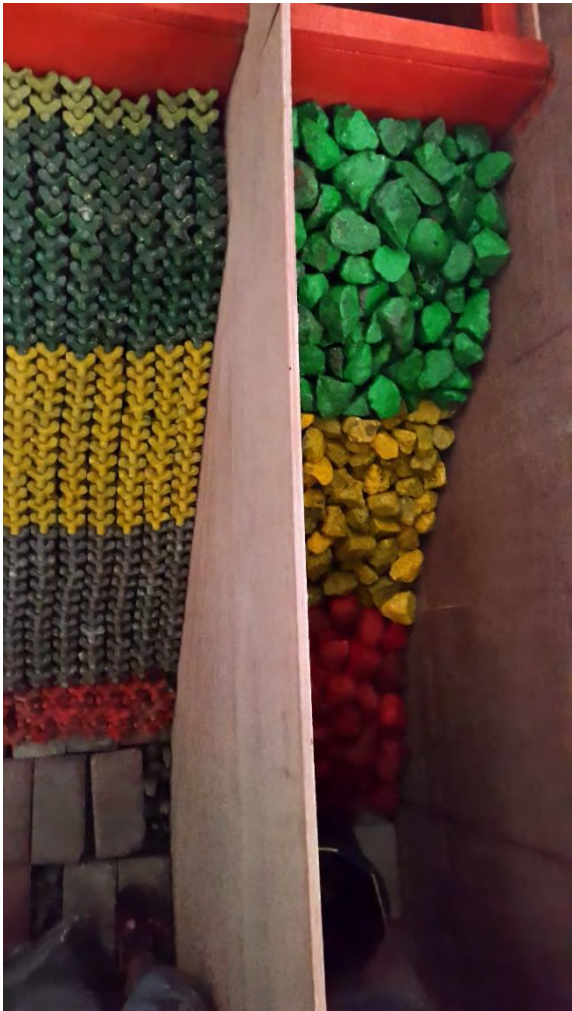
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

PROSES PEMBUATAN MODEL SEAWALL







LAMPIRAN 2

FOTO SEBELUM DAN SESUDAH SEMUA VARIASI

Kedalaman $d = 0.5$ m

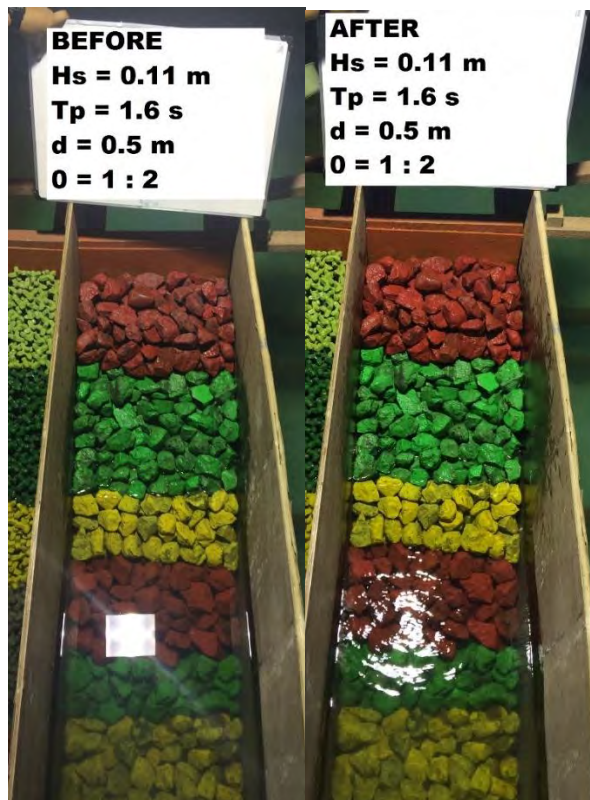
- $H_s = 0.07$ m $T = 1.6$ s



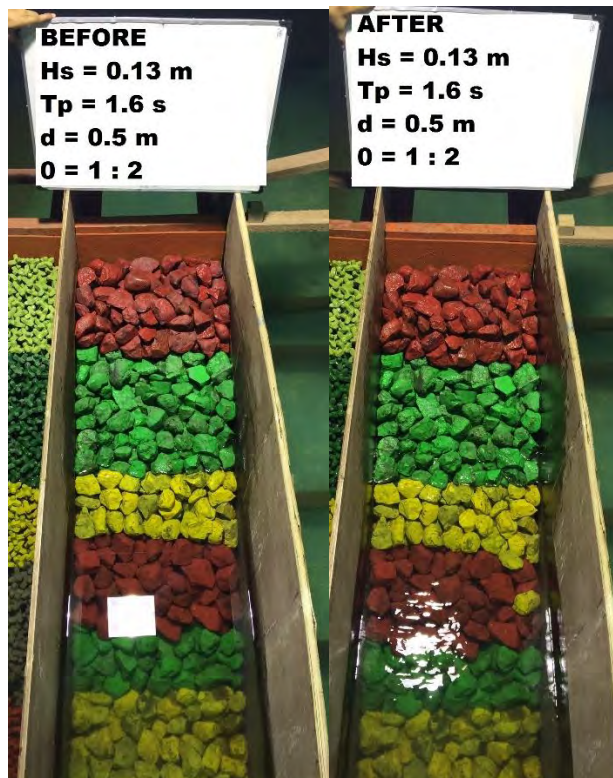
- $H_s = 0.06$ m $T = 1.7$ s



- $H_s = 0.11 \text{ m}$ $T = 1.6 \text{ s}$



- $H_s = 0.13 \text{ m}$ $T = 1.6 \text{ s}$



- $H_s = 0.14 \text{ m}$ $T = 1.6 \text{ s}$



Kedalaman $d = 0.45$ m

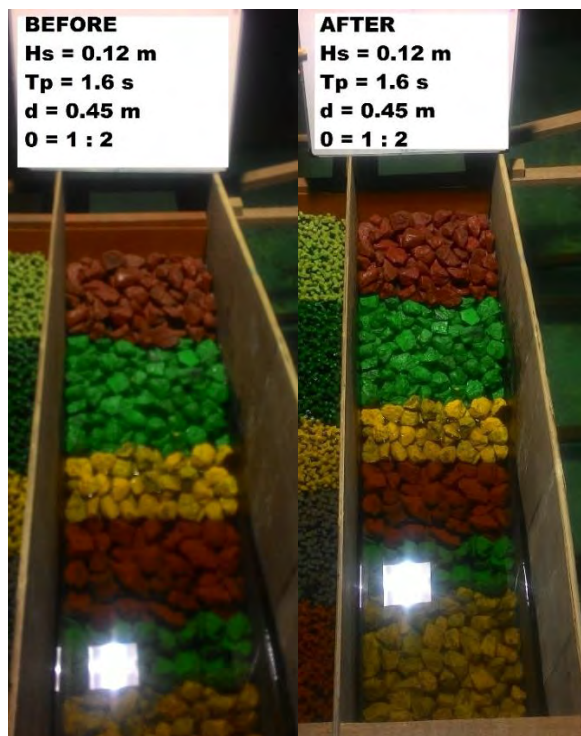
- $H_s = 0.07$ m $T = 1.6$ s



- $H_s = 0.06$ m $T = 1.7$ s



- $H_s = 0.12 \text{ m}$ $T = 1.6 \text{ s}$



- $H_s = 0.13 \text{ m}$ $T = 1.6 \text{ s}$



- $H_s = 0.14 \text{ m}$ $T = 1.6 \text{ s}$



Kedalaman $d = 0.4$ m

- $H_s = 0.07$ m $T = 1.6$ s



- $H_s = 0.06$ m $T = 1.7$ s



- $H_s = 0.12 \text{ m}$ $T = 1.6 \text{ s}$



- $H_s = 0.13 \text{ m}$ $T = 1.6 \text{ s}$



- $H_s = 0.14 \text{ m}$ $T = 1.6 \text{ s}$



LAMPIRAN 3

HASIL PEMBACAAN GELOMBANG PADA *SOFTWARE* AnaWare

Kedalaman d = 0.5 m

- H 0.3 m T 1.2 s

```
Wave Characteristic
+++++

Min-First Moment(momen -1)=  1.14636
Zeroth Moment              =  3.28083
First Moment                =  9.87278
Second Moment               = 31.80515
Third Moment                = 113.54238
Fourth Moment               = 473.91382

Average Wave Period        =  2.0880 seconds
Wave Peak Period           =  1.6277 seconds
Mean Zero Crossing Period  =  2.0180 seconds
Significant Wave Height    =  7.2452 centimetres
Maximum Wave Height        = 12.8240 centimetres
Zero Moment Wave Height    =  7.2452 centimetres
Average Wave Height        =  4.5283 centimetres
rms Wave Height            =  4.0283 centimetres
Average of Highest 1/10    =  9.2014 centimetres
```

- H 0.3 m T 1.4 s

```
Wave Characteristic
+++++

Min-First Moment(momen -1)=  1.04681
Zeroth Moment              =  2.63096
First Moment                =  7.08658
Second Moment               = 20.86765
Third Moment                = 69.76745
Fourth Moment               = 279.52192

Average Wave Period        =  2.3327 seconds
Wave Peak Period           =  1.7168 seconds
Mean Zero Crossing Period  =  2.2310 seconds
Significant Wave Height    =  6.4881 centimetres
Maximum Wave Height        = 11.4839 centimetres
Zero Moment Wave Height    =  6.4881 centimetres
Average Wave Height        =  4.0551 centimetres
rms Wave Height            =  3.6074 centimetres
Average of Highest 1/10    =  8.2399 centimetres
```

- H 0.5 m T 1.2 s

Wave Characteristic

+++++

Min-First Moment (momen -1) = 3.14459
 Zeroth Moment = 9.12048
 First Moment = 27.65106
 Second Moment = 89.13903
 Third Moment = 317.57155
 Fourth Moment = 1327.97005

Average Wave Period = 2.0725 seconds
 Wave Peak Period = 1.6218 seconds
 Mean Zero Crossing Period = 2.0098 seconds
 Significant Wave Height = 12.0801 centimetres
 Maximum Wave Height = 21.3817 centimetres
 Zero Moment Wave Height = 12.0801 centimetres
 Average Wave Height = 7.5500 centimetres
 rms Wave Height = 6.7165 centimetres
 Average of Highest 1/10 = 15.3417 centimetres

- H 0.6 m T 1.2 s

Wave Characteristic

+++++

Min-First Moment (momen -1) = 3.86971
 Zeroth Moment = 10.65450
 First Moment = 30.87976
 Second Moment = 96.08669
 Third Moment = 335.48535
 Fourth Moment = 1415.70897

Average Wave Period = 2.1679 seconds
 Wave Peak Period = 1.6369 seconds
 Mean Zero Crossing Period = 2.0923 seconds
 Significant Wave Height = 13.0565 centimetres
 Maximum Wave Height = 23.1100 centimetres
 Zero Moment Wave Height = 13.0565 centimetres
 Average Wave Height = 8.1603 centimetres
 rms Wave Height = 7.2594 centimetres
 Average of Highest 1/10 = 16.5817 centimetres

- H 0.7 m T 1.2 s

Wave Characteristic

+++++

| | |
|-----------------------------|--------------|
| Min-First Moment(momen -1)= | 4.40869 |
| Zeroth Moment | = 12.69555 |
| First Moment | = 38.12071 |
| Second Moment | = 121.74807 |
| Third Moment | = 432.63750 |
| Fourth Moment | = 1847.71079 |

| | | | |
|---------------------------|---|---------|-------------|
| Average Wave Period | = | 2.0925 | seconds |
| Wave Peak Period | = | 1.6128 | seconds |
| Mean Zero Crossing Period | = | 2.0290 | seconds |
| Significant Wave Height | = | 14.2523 | centimetres |
| Maximum Wave Height | = | 25.2266 | centimetres |
| Zero Moment Wave Height | = | 14.2523 | centimetres |
| Average Wave Height | = | 8.9077 | centimetres |
| rms Wave Height | = | 7.9243 | centimetres |
| Average of Highest 1/10 | = | 18.1005 | centimetres |

Kedalaman d = 0.45 m

- H 0.3 m T 1.2 s

Wave Characteristic

+++++

| | |
|-----------------------------|-------------|
| Min-First Moment(momen -1)= | 1.06263 |
| Zeroth Moment | = 3.06732 |
| First Moment | = 9.28770 |
| Second Moment | = 30.06994 |
| Third Moment | = 107.74974 |
| Fourth Moment | = 449.59406 |

| | |
|---------------------------|-----------------------|
| Average Wave Period | = 2.0751 seconds |
| Wave Peak Period | = 1.6249 seconds |
| Mean Zero Crossing Period | = 2.0067 seconds |
| Significant Wave Height | = 7.0055 centimetres |
| Maximum Wave Height | = 12.3998 centimetres |
| Zero Moment Wave Height | = 7.0055 centimetres |
| Average Wave Height | = 4.3784 centimetres |
| rms Wave Height | = 3.8951 centimetres |
| Average of Highest 1/10 | = 8.8970 centimetres |

- H 0.3 m T 1.4 s

Wave Characteristic

+++++

| | |
|-----------------------------|-------------|
| Min-First Moment(momen -1)= | 0.97806 |
| Zeroth Moment | = 2.53117 |
| First Moment | = 6.98812 |
| Second Moment | = 21.02194 |
| Third Moment | = 71.74804 |
| Fourth Moment | = 293.60058 |

| | |
|---------------------------|-----------------------|
| Average Wave Period | = 2.2758 seconds |
| Wave Peak Period | = 1.6813 seconds |
| Mean Zero Crossing Period | = 2.1802 seconds |
| Significant Wave Height | = 6.3639 centimetres |
| Maximum Wave Height | = 11.2640 centimetres |
| Zero Moment Wave Height | = 6.3639 centimetres |
| Average Wave Height | = 3.9774 centimetres |
| rms Wave Height | = 3.5383 centimetres |
| Average of Highest 1/10 | = 8.0821 centimetres |

- H 0.5 m T 1.2 s

Wave Characteristic

+++++

Min-First Moment(momen -1)= 2.51026
 Zeroth Moment = 7.47900
 First Moment = 23.30077
 Second Moment = 77.27218
 Third Moment = 282.98075
 Fourth Moment = 1214.79404

Average Wave Period = 2.0168 seconds
 Wave Peak Period = 1.5847 seconds
 Mean Zero Crossing Period = 1.9547 seconds
 Significant Wave Height = 10.9391 centimetres
 Maximum Wave Height = 19.3622 centimetres
 Zero Moment Wave Height = 10.9391 centimetres
 Average Wave Height = 6.8369 centimetres
 rms Wave Height = 6.0821 centimetres
 Average of Highest 1/10 = 13.8927 centimetres

- H 0.6 m T 1.2 s

Wave Characteristic

+++++

Min-First Moment(momen -1)= 3.55988
 Zeroth Moment = 10.02755
 First Moment = 29.58487
 Second Moment = 93.11923
 Third Moment = 325.09117
 Fourth Moment = 1343.77590

Average Wave Period = 2.1296 seconds
 Wave Peak Period = 1.6540 seconds
 Mean Zero Crossing Period = 2.0619 seconds
 Significant Wave Height = 12.6665 centimetres
 Maximum Wave Height = 22.4197 centimetres
 Zero Moment Wave Height = 12.6665 centimetres
 Average Wave Height = 7.9166 centimetres
 rms Wave Height = 7.0426 centimetres
 Average of Highest 1/10 = 16.0865 centimetres

- H 0.7 m T 1.2 s

Wave Characteristic

+++++

| | | |
|-----------------------------|---|------------|
| Min-First Moment (momen -1) | = | 4.17198 |
| Zeroth Moment | = | 12.17890 |
| First Moment | = | 36.95809 |
| Second Moment | = | 118.73728 |
| Third Moment | = | 420.43258 |
| Fourth Moment | = | 1758.82935 |

| | | |
|---------------------------|---|---------------------|
| Average Wave Period | = | 2.0705 seconds |
| Wave Peak Period | = | 1.6325 seconds |
| Mean Zero Crossing Period | = | 2.0123 seconds |
| Significant Wave Height | = | 13.9593 centimetres |
| Maximum Wave Height | = | 24.7080 centimetres |
| Zero Moment Wave Height | = | 13.9593 centimetres |
| Average Wave Height | = | 8.7246 centimetres |
| rms Wave Height | = | 7.7614 centimetres |
| Average of Highest 1/10 | = | 17.7283 centimetres |

Kedalaman d = 0.4 m

- H 0.3 m T 1.2 s

Wave Characteristic

+++++

| | |
|-----------------------------|-------------|
| Min-First Moment(momen -1)= | 0.70806 |
| Zeroth Moment | = 2.04433 |
| First Moment | = 6.20914 |
| Second Moment | = 20.24894 |
| Third Moment | = 73.57423 |
| Fourth Moment | = 314.09573 |

| | |
|---------------------------|-----------------------|
| Average Wave Period | = 2.0687 seconds |
| Wave Peak Period | = 1.5953 seconds |
| Mean Zero Crossing Period | = 1.9964 seconds |
| Significant Wave Height | = 5.7192 centimetres |
| Maximum Wave Height | = 10.1230 centimetres |
| Zero Moment Wave Height | = 5.7192 centimetres |
| Average Wave Height | = 3.5745 centimetres |
| rms Wave Height | = 3.1799 centimetres |
| Average of Highest 1/10 | = 7.2634 centimetres |

- H 0.3 m T 1.4 s

Wave Characteristic

+++++

| | |
|-----------------------------|-------------|
| Min-First Moment(momen -1)= | 0.53556 |
| Zeroth Moment | = 1.40831 |
| First Moment | = 3.95601 |
| Second Moment | = 12.10164 |
| Third Moment | = 41.72771 |
| Fourth Moment | = 169.61136 |

| | |
|---------------------------|----------------------|
| Average Wave Period | = 2.2368 seconds |
| Wave Peak Period | = 1.6783 seconds |
| Mean Zero Crossing Period | = 2.1434 seconds |
| Significant Wave Height | = 4.7469 centimetres |
| Maximum Wave Height | = 8.4020 centimetres |
| Zero Moment Wave Height | = 4.7469 centimetres |
| Average Wave Height | = 2.9668 centimetres |
| rms Wave Height | = 2.6393 centimetres |
| Average of Highest 1/10 | = 6.0285 centimetres |

- H 0.5 m T 1.2 s

Wave Characteristic

+++++

Min-First Moment(momen -1)= 1.51144
 Zeroth Moment = 4.55148
 First Moment = 14.35099
 Second Moment = 48.27767
 Third Moment = 179.75373
 Fourth Moment = 783.95724

Average Wave Period = 1.9927 seconds
 Wave Peak Period = 1.5592 seconds
 Mean Zero Crossing Period = 1.9292 seconds
 Significant Wave Height = 8.5337 centimetres
 Maximum Wave Height = 15.1046 centimetres
 Zero Moment Wave Height = 8.5337 centimetres
 Average Wave Height = 5.3335 centimetres
 rms Wave Height = 4.7447 centimetres
 Average of Highest 1/10 = 10.8378 centimetres

- H 0.6 m T 1.2 s

Wave Characteristic

+++++

Min-First Moment(momen -1)= 2.68284
 Zeroth Moment = 7.65734
 First Moment = 22.94455
 Second Moment = 73.57033
 Third Moment = 262.57796
 Fourth Moment = 1112.31795

Average Wave Period = 2.0969 seconds
 Wave Peak Period = 1.6159 seconds
 Mean Zero Crossing Period = 2.0271 seconds
 Significant Wave Height = 11.0688 centimetres
 Maximum Wave Height = 19.5917 centimetres
 Zero Moment Wave Height = 11.0688 centimetres
 Average Wave Height = 6.9180 centimetres
 rms Wave Height = 6.1542 centimetres
 Average of Highest 1/10 = 14.0573 centimetres

- H 0.7 m T 1.2 s

Wave Characteristic

+++++

| | |
|-----------------------------|--------------|
| Min-First Moment(momen -1)= | 3.21922 |
| Zeroth Moment | = 9.59270 |
| First Moment | = 29.73364 |
| Second Moment | = 97.61831 |
| Third Moment | = 353.04574 |
| Fourth Moment | = 1504.09650 |

| | | | |
|---------------------------|---|---------|-------------|
| Average Wave Period | = | 2.0271 | seconds |
| Wave Peak Period | = | 1.6007 | seconds |
| Mean Zero Crossing Period | = | 1.9696 | seconds |
| Significant Wave Height | = | 12.3888 | centimetres |
| Maximum Wave Height | = | 21.9282 | centimetres |
| Zero Moment Wave Height | = | 12.3888 | centimetres |
| Average Wave Height | = | 7.7430 | centimetres |
| rms Wave Height | = | 6.8882 | centimetres |
| Average of Highest 1/10 | = | 15.7338 | centimetres |

LAMPIRAN 4

| | | | |
|------------------|-----------------|------|-------------------|
| Berat | W = | 0.4 | kg |
| Gravitasi | g = | 9.8 | m/s ² |
| Berat jenis air | ρ water = | 1000 | kg/m ³ |
| Berat jenis batu | ρ batu = | 1450 | kg/m ³ |
| kemiringan | $\cot \Theta =$ | 2 | |

| Kedalaman (d) m | H & T input | Output | | | | | | | |
|---------------------------|-------------------|-----------|-----------|----------|----------------|-------|-------------------------|--------|-------|
| | | Hs (m) | Tp (s) | Δ | $Hs2\pi/gTp^2$ | d/Hs | Jumlah batu jatuh | Do (%) | kd |
| 0.5 | Hs = 3 & Tp = 1.4 | 0.06 | 1.67 | 0.45 | 0.014 | 8.044 | 0 | 0 | 4.78 |
| | Hs = 3 & Tp = 1.2 | 0.07 | 1.63 | 0.45 | 0.018 | 6.901 | 0 | 0 | 7.56 |
| | Hs = 5 & Tp = 1.2 | 0.12 | 1.62 | 0.45 | 0.029 | 4.139 | 0 | 0 | 35.06 |
| | Hs = 6 & Tp = 1.2 | 0.13 | 1.64 | 0.45 | 0.031 | 3.830 | 1 | 0.54 | 44.27 |
| | Hs = 7 & Tp = 1.2 | 0.14 | 1.61 | 0.45 | 0.035 | 3.508 | 3 | 1.62 | 57.58 |

| Kedalaman (d) m | H & T input | Output | | | | | | | |
|---------------------------|-------------------|-----------|-----------|----------|----------------|-------|-------------------------|--------|-------|
| | | Hs (m) | Tp (s) | Δ | $Hs2\pi/gTp^2$ | d/Hs | Jumlah batu jatuh | Do (%) | kd |
| 0.45 | Hs = 3 & Tp = 1.4 | 0.06 | 1.68 | 0.45 | 0.014 | 7.071 | 0 | 0 | 5.13 |
| | Hs = 3 & Tp = 1.2 | 0.07 | 1.62 | 0.45 | 0.017 | 6.424 | 0 | 0 | 6.84 |
| | Hs = 5 & Tp = 1.2 | 0.11 | 1.58 | 0.45 | 0.028 | 4.114 | 0 | 0 | 26.04 |
| | Hs = 6 & Tp = 1.2 | 0.13 | 1.65 | 0.45 | 0.030 | 3.553 | 1 | 0.54 | 40.42 |
| | Hs = 7 & Tp = 1.2 | 0.14 | 1.63 | 0.45 | 0.034 | 3.224 | 2 | 1.08 | 54.10 |

| Kedalaman (d) m | H & T input | Output | | | | | | | |
|---------------------------|-------------------|-----------|-----------|----------|----------------|-------|-------------------------|--------|-------|
| | | Hs (m) | Tp (s) | Δ | $Hs2\pi/gTp^2$ | d/Hs | Jumlah batu jatuh | Do (%) | kd |
| 0.4 | Hs = 3 & Tp = 1.4 | 0.06 | 1.67 | 0.45 | 0.014 | 6.435 | 0 | 0 | 4.78 |
| | Hs = 3 & Tp = 1.2 | 0.07 | 1.60 | 0.45 | 0.018 | 5.521 | 0 | 0 | 7.56 |
| | Hs = 5 & Tp = 1.2 | 0.12 | 1.56 | 0.45 | 0.032 | 3.311 | 0 | 0 | 35.06 |
| | Hs = 6 & Tp = 1.2 | 0.13 | 1.62 | 0.45 | 0.032 | 3.064 | 0 | 0 | 44.27 |
| | Hs = 7 & Tp = 1.2 | 0.14 | 1.60 | 0.45 | 0.036 | 2.807 | 0 | 0 | 57.58 |

Hudson Formula (CERC, 1984) :

$$K_D = \frac{\gamma_r H s^3}{W \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_a} - 1 \right)^3 \cot \theta}$$

W = berat struktur (kg)

γ_r = berat jenis model (kg/m³)

γ_a = berat jenis air (kg/m³)

Hs = tinggi gelombang signifikan (m)

θ = sudut kemiringan struktur

K_D = koefisien stabilitas

γ_r = 1450 kg/m³

γ_a = 1000 kg/m³

$\cot \theta$ = 2

> **Asumsi awal**

Hs = 0.06 m

Kd = 4

Sehingga didapat,

W = 0.4 kg

> **Hasil penelitian**

W = 0.4 kg

| H & T input | Output | |
|-------------------|--------|------|
| | Hs (m) | Kd |
| Hs = 3 & Tp = 1.4 | 0.06 | 4.3 |
| Hs = 3 & Tp = 1.2 | 0.07 | 7.6 |
| Hs = 5 & Tp = 1.2 | 0.12 | 35.1 |
| Hs = 6 & Tp = 1.2 | 0.13 | 44.3 |
| Hs = 7 & Tp = 1.2 | 0.14 | 57.6 |

W = 0.5 kg

| H & T input | Output | |
|-------------------|--------|------|
| | Hs (m) | Kd |
| Hs = 3 & Tp = 1.4 | 0.06 | 3.4 |
| Hs = 3 & Tp = 1.2 | 0.07 | 6.1 |
| Hs = 5 & Tp = 1.2 | 0.12 | 28.0 |
| Hs = 6 & Tp = 1.2 | 0.13 | 35.4 |
| Hs = 7 & Tp = 1.2 | 0.14 | 46.1 |

Perhitungan Gaya Angkat

$$FL = \frac{1}{2} \cdot CL \cdot \rho \cdot S \cdot U^2$$

Dimana :

FL = gaya angkat

CL = koefisien *lift*

ρ = massa jenis air laut

S = luas perencanaan objek per satuan panjang

U = kecepatan partikel air pada arah horizontal

| | | |
|--------------|-------|-------------------|
| CL | 1 | |
| ρ water | 1000 | kg/m ³ |
| A1 | 0.505 | m ² |
| A2 | 0.45 | m ² |
| A3 | 0.395 | m ² |

| Kedalaman (d) m | $U^2/2$ | FL (newton) | Kedalaman (d) m | $U^2/2$ | FL (newton) |
|-----------------------|---------|----------------|-----------------------|---------|----------------|
| 0.5 | 0.00684 | 3.45284 | 0.4 | 0.00684 | 2.70041 |
| | 0.00978 | 4.937 | | 0.01018 | 4.02158 |
| | 0.02738 | 13.8253 | | 0.02963 | 11.7026 |
| | 0.03139 | 15.853 | | 0.03225 | 12.7384 |
| | 0.03857 | 19.4786 | | 0.03915 | 15.4651 |

| Kedalaman (d) m | $U^2/2$ | FL (newton) |
|-----------------------|---------|----------------|
| 0.45 | 0.00707 | 3.18136 |
| | 0.00917 | 4.12745 |
| | 0.02351 | 10.5808 |
| | 0.02894 | 13.0216 |
| | 0.03608 | 16.2352 |

BIODATA PENULIS



Rorry Haulana Hakiki dilahirkan di Jember pada tanggal 15 Januari 1995, merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai dengan menyelesaikan jenjang Pendidikan Dasar di SDN Jember Lor II Jember pada tahun 2001-2007, Kemudian melanjutkan pendidikan sekolah di SMPN 2 Jember tahun 2007-2010, dan SMAN 1 Jember tahun 2010-2013. Setelah lulus SMA pada tahun 2013, penulis diterima di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui jalur undangan dan terdaftar dengan NRP 4313100006. Selama menempuh masa perkuliahan, penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan kemahasiswaan seperti Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan, OCEANO. Pada tahun 2016 penulis berkesempatan melaksanakan kerja praktik di PT ZEE Indonesia, sebuah perusahaan konsultan swasta yang bergerak di bidang kelautan yang berlokasi di Tangerang Selatan, Banten.

Kontak Penulis :

Email : rorryhakiki@gmail.com

Telepon : 081252782078